《中学数理化教师提高丛书》编委会



总　序

切实加强中学教师队伍特别是青年教师队伍的建设，是教育面向21世纪的一项紧迫的战略任务.为了帮助中学数理化教师提高思想与业务素质以及教学能力、教研能力、科研能力，促进中学教育教学质量的提高，我们组织编写了这套《中学数理化教师提高丛书》.

本丛书遵循以下编写原则：充分考虑21世纪经济建设与教育发展的需要，认真总结多年来中学教育改革的经验，以及开展中学教师继续教育的研究成果；编著的内容源于中学，又高于中学，努力挖掘中学知识与大学知识之间的联系；对中学有关知识内容，抓住实质深刻阐述，并适度拓广，插漏补缺，重点提高；努力做到应用正确的哲学与方法论和先进的教育理论指导所撰内容，并融为一体，注重科学性、时代性、系统性、实用性与可读性；尽量不与已有中学教师进修书籍重复，做到有创新的见解，有独到的分析，有新颖的内容，有作者的研究成果.丛书由郑隆炘、王心宽等10多位教授、专家组成编委会，由在中学数理化教育方面有研究成果与实践经验的教授、专家，以及有研究实力的中青年同志撰稿，其读者对象是各类中等学校数理化教师、教研工作者、大学理科专业学生、高中阶段部分成绩优秀的学生，以及高中以上文化程度的自学者.

我们深信，这套丛书的出版，将对中学师资队伍建设与中学理科教育改革，起到积极的促进作用.

《中学数理化教师提高丛书》编委会

1996年4月于武汉

序　　言

这套丛书的出版是一件很有意义的工作。由于笔者工作范围之限，只能对数学方面提出一点看法。如果还多少有一些想法对其他学科也有些作用，则甚至有一些喜出望外了。

自文化大革命结束以来，中学教育无论在数量和质量方面都有了飞跃的进展。比之当时百废待兴的局面自然是今非昔比。尽管在未来几十年中改革和发展都还会有极多复杂的情况出现，但是总可以采取比较“正规”的，按教育客观规律办事的方法，而临时性的措施应该更少一些了。因此，中学教师的继续教育问题就亟待更有系统地提出与解决了。

当然，可以要求中学教师都有更高的学历；如果满足不了，也可以用某种形式来补一补课；也可以开一些研讨会等等来帮助解决某些问题，但是根本之图是要求中学教师能多读一点书。这样就提出了一问题，读什么书？怎样读书才能有用？有不少人认为教什么就学什么就行了，不少人（包括高等师范院校相当一批师生在内）已经感到念这么多高等数学是没有用的。有不少人认为这违反了“师范性”反而造成思想不安、队伍不稳，如此等等。也有完全相反的看法，认为只有多念更高深的数学课程，本科完了还有研究生，这样才能从“根本上”提高水平，从“根本上”稳定队伍，从“根本上”解决师范性问题。那么什么是“师范性”呢？为人“师表”，应该有什么样的“规范”呢？作为一个教师，特别是一个中学教师，他的工作对象是“人”，是十来岁思想最活跃，最具可塑性的人，要去塑造一个人，有思想政治的要求，有道德情操的要求，当然还有生活能力、劳动技能等等，而从数量上“作大头”的仍是科学文化方面的要求。对于一个数理化教师，不但要求他以自己的思想情操去感化学生，更要求他能从自己的专业方面去塑造一个人。当然，例如一

个数学教师不应该以为自己的学生将来很多人成为数学家。但是，数学不只是谋生技能，更不能只是进入高一级学校的敲门砖。从这门科学中，我们看到人类是怎样解决他们面临的许多问题，又怎样从具体问题形成了许许多多数学定理、数学理论，……，人们曾经不只是为了某个具体的目的去研究一个个具体的数学问题，而是追求深层次的真理，又怎样由此而造出美好的世界。这就是创造。我们现在常说要培养“能力”。其实，哪里有什么“抽象的能力”，如果不进行创造的实践而侈谈“能力”的培养，犹之乎不下水而谈游泳的道理一样。一个十来岁的孩子解一个简单的数学题，他可能在创造，而范进六十中举，那怕是中了状元也没有什么创造，也谈不上什么能力。当然，写八股文也算一种“能力”吧！问题不在于是念高等数学还是初等数学，而在于如何对待孩子能够接受的知识，是一个态度问题。我不相信这里有什么固定的方法，更没有什么诀窍。可以看一看每一个事业有成的人，几乎都受到一两位中学教师的影响，而这位教师的影响，最深刻的不仅在于具体的知识，而在于他的情操，他对待科学的态度等等，即在于他自己的科学素质。

我们常说把大学的知识和中学知识结合起来，其实这是培养高的科学素质的根本之途。有一些历史的经验：19 世纪末到本世纪初的德国大数学家克莱因，写了一部名著《高观点下的初等数学》。应该感谢湖北教育出版社，愿意赔本出这本书，其实这是作者多年利用假期为中学教师讲课的教材，而且实际上把自己的研究的成果都讲给教师们听。直至今日我们再读这本书仍感到富有启发，使人思如泉涌，可以懂得许多自以为再也没有问题的东西，一句话，可以懂得什么叫把大学和中学结合起来。我愿向每一个有志于提高自己数学水平的数学教师推荐这本书，条件是这位教师应该读过相当于大学一、二年级的数学课程。另一个范例是前苏联的经验。其中最宝贵的是，第一流的数学家，甚至是数学大师，也都愿意为中学教师的提高尽心尽力，最近一位同志翻译了前苏联的大数学家辛钦写的《数学分析八讲》，看一下这位名重一时，贡献卓著

的概率论大师，是怎样讲最基本的数学分析知识，从什么是实数，什么是函数开始，而且并不超过大学一年级的内容，看一下他的讲法和我们自己对这门最基本的数学课程的理解，相距何在，就知道为了提高自己的“素质”还要下多少功夫。现在大家都在讲素质教育，如果在科学文化方面也要提出素质问题而不只是谋生技能，更不是进入高一级学校的敲门砖的话，那么最重要的是教师的素质。

这里我们有意不谈对数学有特殊重要性的解题，训练问题，也没有讲到特殊作用的数学竞赛问题，这是需要专门讨论的。但是可以说一句，这不会和下面讲的一切矛盾。

十分高兴，现在有一批有志者在本世纪之末开始编写这一套丛书，决心在这个方向上走上踏实的一步。尽管征途漫漫，困难重重，也不能以上面提到的大师们和他们的经典著作来要求于这丛书。方向是正确的，工作是十分有意义的，希望读者会从这丛书中得到启发，得到益处，更希望有更多的有志者投入这个工作。

齐民友

1996.6.1

于珞珈山



前　言

根据国家教委1988年颁布的《九年制义务教育全日制中学物理教学大纲》的规定，中学物理教师不仅需要掌握教材中有关的理论知识，而且还要提高实验教学的基本素质。为此，我们根据多年教学经验和授课讲义，编写了这本《物理实验教学与教具制作》。

《物理实验教学与教具制作》一共分九章撰写。其中：第一章"实验误差及数据处理"；第二章"中学物理实验教学概述"；第三章"初中物理实验教学技能训练"；第四章"高中物理实验教学技能训练"这前四章是关于实验教学技能训练部分。第五章"教具制作的意义及加工技术"；第六章"初中物理实验教具制作"；第七章"高中物理实验教具制作"；第八章"趣味物理实验教具制作"是介绍制作教具基本知识及教具制作的有关参考资料。第九章"历史上重要的物理实验简介"选择历史上一部分重要的物理实验作了简单介绍，帮助教师教学中查阅。

参加编写此书的有关教师为：第一章、第九章由曹丰编写；第二章、第四章、第七章由王志敏编写；第六章、第八章由刘建新编写；第三章由王悦编写；第五章由杨路丹编写；最后由王志敏统稿。

必须指出的是，这本书选编的教具，是我校教师与1989年以来全省进修学员在教学过程中制作的。我们从数百件教具中选出了部分教具，希望读者通过了解这些教具在制作过程中的设计思想与制作技巧，能有所收获。如果能使中学教师觉得读了此书有所收益，这将使我们感到莫大的欣慰。这里我们要感谢李克金、高书琴、龚义建等教师在教具制作的教学中对我们的大力支持。

限于我们的水平与经验，书中肯定有不少错误与疏漏，敬请读者批评指正。

编　者

1996年5月，于武昌阅马场

目　录



第一章　实验误差及数据处理

物理实验中每一个物理量都具有真值。但在测量和计算过程中，得到的只能是一个近似值。为了使实验结果尽可能地接近真值，本章从介绍误差入手，在分析误差产生原因和处理方法的基础上，讲述有效数字的运算法则及实验数据的处理方法。

§1.1　误差分析

物理实验中，绝大多数实验都涉及到物理量的测量和物理规律的研究，要求学生能应用所选择的合适仪器，尽可能获得令人满意的结果。一个待测物理量，在客观上具有真值。但由于受到测量仪器、测量方法、测量条件和观察者生理反应能力、操作水平等因素的限制，测得的结果只可能是一个近似值。测量值与真值之差称为**绝对误差**，简称**误差**。即

误差＝测量值－真值

在实验中进行测量和数据处理时，都应着眼于减少误差，尽可能使实验结果接近真值。误差产生的原因是多方面的，从误差的性质和来源上可分为**系统误差**和**偶然误差**两大类。

一、系统误差

系统误差的特点是：在相同条件下，对同一物理量进行多次测量时，误差的大小和正负总保持不变，或按一定的规律变化，或是有规律地重复。

系统误差主要来自以下三个方面：

1. 仪器误差

这是由于测量仪器不完善或有缺陷，以及没有按规定条件使用而造成的误差。仪器误差常表现在下面三种情况：

(1)示值误差。如米尺由于变形造成刻度不标准；电表的轴承磨损引起示值不准等。

(2)零值误差。如千分尺由于磨损致使在零位时，读数不为零；电表在使用之前未调整零位等。

(3)仪器机构和附件误差。如天平两臂不等长；砝码不准；电桥的标准电阻不准等。

2. 方法误差

这是由于实验理论、实验方法或实验条件不合要求而引起的误差。如用伏安法测电阻，采用不同的连接方法，电表的内阻会给测量带来误差；在热学实验中，绝热条件的好坏对测量结果的影响等。

3. 人员误差

这是由于观测者个人生理和心理上的特点所造成的误差。如在使用停表计时中，有的人失之过长，有的人失之过短；在电表读数时，有人偏左而有人偏右；在估计读数时，有人习惯偏大而有人习惯偏小等。

系统误差常分为两类，即**已定系统误差**和**未定系统误差**。前者指其误差的符号和绝对值均已确定，而后者是指其误差的符号或绝对值尚未确定。

二、偶然误差

在同一条件下，对某一物理量进行多次测量时，每次测量的结果有差异，其差异的大小和符号以不可预定的方式变化着。这种误差称为**偶然误差**或**随机误差**。

偶然误差是由于一些偶然的、不确定的因素引起的。例如，各次观察时仪器对得不准；调节平衡时，平衡点确定不准；读数不准

确；实验仪器由于环境温度、湿度、振动、杂散电磁场的干扰、电源电压的波动等因素引起测量值的变化。这些因素的影响一般是微小的、混杂的，并且是随机出现的，这就难以确定某个因素产生的具体影响的大小。

每项测量的偶然误差是无规则的，但若测量次数充分多时，就会发现在一定条件下，它具有一定的规律性。这种规律性表现在偶然误差服从一定的统计规律，具体表现为

(1)绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率要大得多。

(2)比真值大的测量值与比真值小的测量值出现的概率相等。

(3)绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相等。

三、系统误差与偶然误差的关系

系统误差的特征是它的确定性，而偶然误差的特征是它的随机性，两者经常同时存在于实验之中，有时难以严格区分。通常把一些不确定的系统误差看作偶然误差，也常把一些确定的但规律过于复杂的系统误差当作偶然误差来处理。有时，两者的区别与空间和时间的因素有关。例如，环境温度对标准仪器的影响，在短时间内可以看成是系统误差，而在长时间内则认为是偶然误差。另外，随着科学技术的发展，人们对误差来源及其变化规律的认识加深，有可能把过去认识不到而归于偶然误差的某些误差，确定为系统误差。

还必须指出，在测量中，由于读数或计算时发生错误，致使测量结果与真值之间产生较大的偏差(过失误差或粗大误差)，这种偏差是错误而不是误差，它是不应该出现的，也是完全可以避免的。

四、对误差大小的评价

实验中常用精密度、准确度和精确度来评价实验结果中误差

的大小。这三个概念的涵义不同，应加以区别。

1. 精密度

表示测量结果中偶然误差大小的程度。精密度高是指在多次测量中，数据的离散性小，偶然误差小。

2. 准确度

表示测量结果中系统误差大小的程度。准确度高表示多次测量数据的平均值偏离真值的程度小，系统误差小。

3. 精确度

是对测量结果中系统误差和偶然误差大小的综合评价。精确度高是表示在多次测量中，数据比较集中，且逼近真值，即测量结果中的系统误差和偶然误差都比较小。

另外，在评价测量结果时，常用到精度这个概念。精度是一个泛指的概念，有时，它是表示系统误差的大小，即准确度的高低；有时它是表示偶然误差的大小，即精密度的大小；同时，它也可用来综合评定系统误差和偶然误差的大小，即表示测量结果的精确度。

§1.2 偶然误差的处理

在这一节里，我们假定在没有系统误差存在的情况下，来讨论偶然误差问题。

一、测量结果的最佳值——多次测量的平均值

对某一物理量进行测量时，最好进行多次重复测量。根据多次重复测量的结果，可能获得一个最接近真值的最佳值。

在相同条件下，对某物理量 x 进行了 n 次重复测量，其测量值分别为 $x_1, x_2, \cdots, x_n$。用 $\bar{x}$ 表示它们的算术平均值(简称平均值)，得：

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1\text{-}1)$$

当测量次数无限增多时，根据偶然误差的性质可以证明：该平均值将无限接近于真值。所以，平均值 $\bar{x}$ 又称为测量结果的最佳值，常把它作为测量的结果。

二、算术平均绝对误差

真值无法得到，误差也就无法估算。由于平均值是最佳值，可以把它作为近真值来估算误差。一般定义测量值与平均值之差为“偏差”或“离差”，它们与误差是有区别的。然而当测量次数很多时，“偏差”会接近误差。在以下讨论中，不去严格区分“偏差”和误差，把它们统称为误差。

在多次重复测量中，每次测量值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 的差，取绝对值，用 Δx_i 表示，则有

$\Delta x_1 = |x_1 - \bar{x}|, \Delta x_2 = |x_2 - \bar{x}|, \cdots, \Delta x_n = |x_n - \bar{x}|$；

取

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i。 \qquad (1\text{-}2)$$

称 $\overline{\Delta x}$ 为算术平均绝对误差，简称为算术平均误差或平均绝对误差。测量结果表达式可写为

$$x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}。 \qquad (1\text{-}3)$$

三、标准误差——方均根误差 a

在现代实验测量中，通常用标准误差来衡量一组测量值的精密度，标准误差就是均方根误差。物理量 x 的标准误差用 σ_x 表示，它的定义是：当测量次数无限多时，有

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (\Delta x_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}。 \qquad (1\text{-}4)$$

测量次数不可能无限多，根据误差理论，当测量次数有限时，(1-4)

式应改写成：

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}。\qquad (1\text{-}5)$$

(1-5)式是 n 次重复测量中单次测量的标准误差，n 次测量结果平均值 $\bar{x}$ 的标准误差又称为平均标准误差，用 $\sigma_{\bar{x}}$ 表示，则上式应写成：

$$\bar{x} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}。\qquad (1\text{-}6)$$

当偶然误差用标准误差来表示时，测量结果应写为

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x \text{ 或 } x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}。\qquad (1\text{-}7)$$

四、相对误差

我们把测量结果及其偶然误差写为 $x \pm \Delta x$ 的形式，其中 x 是测量值，它可以是一次测量值，也可以是多次测量的平均值；Δx 是绝对误差，它可以是一次测量中绝对误差的绝对值，也可以是平均绝对误差或标准误差。在对同一对象采用不同精度的仪器或测量方法来测量时，Δx 能够表示出测量的不同精确度。但对不同对象进行测量时，却反映不出不同的精确度。例如，用米尺测量两物体的长度，测量结果为：

$x_1 = 100.00 \pm 0.05\text{cm}$，$x_2 = 10.00 \pm 0.05\text{cm}$，两者的绝对误差相同，均为 0.05cm，但误差点测量值的比例不同，前者的精确度高于后者。因此，引入相对误差，它可以评价上述两测量结果精确度的差别。相对误差通常用百分比表示，所以又称为百分比误差。相对误差 E 定义为

$$E = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%。\qquad (1\text{-}8)$$

(1-8)式中的 x 通常取平均值，也可以用公认值或理论值代替。

例 对某电压测量的数据处理（见表 1-1）。

表 1-1 电压的测量

次 数	1	2	3	4	5
测量值 U_i(V)	10.03	9.98	9.99	10.02	9.97
平均值 $\bar{U}$(V)	10.00				
绝对误差(V)	0.03	−0.02	−0.01	0.02	−0.03
相对误差(E)	0.3%	0.2%	0.1%	0.2%	0.3%
平均绝对误差	$\overline{\Delta U}=0.02$V			E=2%	
标准误差	$\sigma_U=0.03$V			E=3%	
平均标准误差	$\sigma_{\bar{U}}=0.02$V			E=2%	

$$\bar{U}=\frac{1}{5}\times(10.03+9.98+9.99+10.02+9.97)=10.00(\text{V});$$

$$\overline{\Delta U}=\frac{1}{5}[|0.03|+|-0.02|+|-0.01|+|0.02|+|-0.03|]$$
$$=0.02(\text{V});$$

$$\sigma_U=\sqrt{\frac{1}{5-1}[(0.03)^2+(-0.02)^2+(-0.01)^2+(0.02)^2+(-0.03)^2]}$$
$$=0.03(\text{V});$$

$$\sigma_{\bar{U}}=\frac{\sigma_U}{\sqrt{n}}=\frac{0.03}{\sqrt{5}}=0.02(\text{V})。$$

在计算过程中,误差一般取一位且应与测量值的尾位对齐,误差的尾数只进不退。

本例中的偶然误差分别用平均绝对误差、标准误差、平均标准误差来表示时,其对应的测量结果为

$U=10.00\pm0.02$V;$U=10.00\pm0.03$V;$U=10.00\pm0.02$V。

五、间接测量的误差估算

物理实验中的被测量 N,往往通过与直接测量量的函数关系计算出来。我们称 N 为间接测量量或复合量。

计算间接测量量值时,是将各直接测量量的平均值代入有关函数式求出。由于各直接测量量的平均值均有误差,因此计算的结

果也必然具有一定的误差，这称为误差的传递，其误差的大小取决于各直测量误差的大小以及函数的具体形式。

设间接测量量与若干个直测量有下述函数关系：

$$N = f(x, y, \cdots) \tag{1-9}$$

$x, y, \cdots$表示直测量。对上式求全微分，得：

$$\mathrm{d}N = \frac{\partial f}{\partial x}\mathrm{d}x + \frac{\mathrm{d}y}{\partial y} + \cdots \tag{1-10}$$

式中，$\mathrm{d}x, \mathrm{d}y, \cdots$和 $\mathrm{d}N$ 都是微小改变量，可以看成是各量值的误差，并分别用 $\Delta x, \Delta y, \cdots$和 ΔN 代替它们，则绝对误差公式表示为

$$\Delta N = \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|\Delta x + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|\Delta y + \cdots \tag{1-11}$$

(1-11)式称为函数误差算术传递的基本公式。将(1-10)式两边平方后略去高阶小项，得

$$(\mathrm{d}N)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2(\mathrm{d}x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2(\mathrm{d}y)^2 + \cdots \tag{1-12}$$

用标准误差 $\sigma_N^2, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \cdots$代替(1-12)式中的$(\mathrm{d}N)^2$、$(\mathrm{d}x)^2$，$(\mathrm{d}y)^2$，$\cdots$，得标准误差传递的基本公式：

$$\sigma_N = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2\sigma_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\sigma_y^2 + \cdots} \tag{1-13}$$

根据(1-11)式和(1-13)式，我们把常用函数的误差算术传递公式和标准误差传递公式列成表 1-2 以备查用。

表 1-2　常用函数的误差传递公式

函数式	算术传递公式	标准误差传递公式
$N = x + y + \cdots$	$\Delta N = \Delta x + \Delta y + \cdots$	$\sigma_N = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \cdots}$
$N = x - y$	$\Delta N = \Delta x + \Delta y$	$\sigma_N = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$
$N = x \cdot y$	$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$	$\frac{\sigma_N}{N} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2}$
$N = \frac{x}{y}$	$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$	$\frac{\sigma_N}{N} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2}$

续表

函数式	算术传递公式	标准误差传递公式
$N=\frac{x^k y^l}{z^m}$	$\frac{\Delta N}{N}= k\frac{\Delta x}{x}+l\frac{\Delta y}{y}+m\frac{\Delta z}{z}$	$\frac{\sigma_N}{N}= \sqrt{\left(k\frac{\sigma_x}{x}\right)^2+\left(l\frac{\sigma_y}{y}\right)^2+\left(m\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$
$N=\sqrt[k]{x}$	$\frac{\Delta N}{N}=\frac{1}{k}\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\sigma_N}{N}=\frac{1}{k}\frac{\sigma_x}{x}$
$N=Kx$	$\Delta N=K\cdot\Delta x$ $\frac{\Delta N}{N}=\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\sigma_N}{N}=\frac{\sigma_X}{x}$
$N=\sin x$	$\Delta N=\lvert\cos x\rvert\Delta x$	$\sigma_N=\lvert\cos x\rvert\sigma_x$
$N=\ln x$	$\Delta N=\frac{\Delta x}{x}$	$\sigma_N=\frac{\sigma_x}{x}$

例 测得一金属圆柱体的质量 $m=162.38\pm0.01$g，长度 $l=39.92\pm0.01$mm、直径 $d=24.927\pm0.002$mm，求其密度和误差

$$\rho=\frac{m}{v}=\frac{4m}{\pi d^2 l}=\frac{4\times162.38}{3.1416\times(24.927)^2\times39.92}=8.335(\text{g}\cdot\text{cm}^3)$$

若题设中的误差为平均绝对误差，用误差算术传递公式：

$$\frac{\Delta\rho}{\rho}=\frac{\Delta m}{m}+2\frac{\Delta d}{d}+\frac{\Delta l}{l}$$

$$=\frac{0.01}{162.38}+2\times\frac{0.002}{24.927}+\frac{0.01}{39.92}$$

$$=0.0004$$

$$\Delta\rho=8.335\times0.0004=0.003(\text{g}\cdot\text{cm}^3)$$

求得其密度为 $\rho=(8.335\pm0.003)\text{g}\cdot\text{cm}^3$

若题设中的误差为标准误差，用标准误差传递公式：

$$\frac{\sigma_\rho}{\rho}=\sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2+\left(2\frac{\sigma_d}{d}\right)^2+\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{0.01}{162.38}\right)^2+\left(2\times\frac{0.002}{24.927}\right)^2+\left(\frac{0.01}{39.92}\right)^2}$$

$$=0.0003;$$

$$\sigma_\rho=8.335\times0.0003=2.5\times10^{-3}\approx0.003(\text{g}\cdot\text{cm}^3),$$

求得其密度为　$\rho=(8.335\pm0.003)\mathrm{g}\cdot\mathrm{cm}^3$

§1.3　系统误差的处理

实验工作中，在许多情况下，系统误差是影响测量结果精确度的主要因素，然而它又常常不明显地表示出来。当它被疏忽时，会给实验结果带来严重的影响。因此，找出系统误差，减少、修正或消除它的影响，估算它的大小，这是系统误差处理的重要因素。

一、系统误差的发现

1. 测量仪器往往是系统误差的主要来源

为了保证仪器符合测量要求，应经常或定期对测量仪器进行校验，以便及时发现系统误差。在实验中，还可以通过多个同类仪器进行比较，观察测量值的差异，找出它们一致性的数据，从中判定仪器的系统误差。

2. 分析实验所依据的理论公式所要求的约束条件在测量中是否已满足。

将实验值与理论值或公认值进行比较，从中发现系统误差。例如用单摆测重力加速度时，要求摆角很小，并可将实验中测得的重力加速度与公认值进行比较。

3. 有意识地改变仪器的某些参量或使用条件，以便分析和判断其中的系统误差

例如在光学实验中，怀疑是否因为观测者色盲而引进系统误差，可以更换观测者予以检查区别；又如，当用电流表测弱电流时，怀疑周围强磁场对测量引起系统误差，可把电流的方位转 180°后再测一次，若两次测量值不同，可判定因强磁场的影响，测量中有系统误差存在。

二、系统误差的消除和修正

系统误差的消除和修正，是指使其影响减小到仪器测量的精度以内。否则，精确的测量便失去意义。下面介绍对于系统误差进行消除和修正时常采用的几种方法。

1. 修正法

对于有些零值误差，如千分尺使用时间较长后产生的磨损，可引入一个修正值，在测量时进行修正。对于仪器的示值误差，可通过与高精度仪器比较，或根据理论分析导出修正值，予以修正。

2. 交换法

在测量中对某些条件（如被测物的位置）进行交换，使产生系统误差的原因对测量结果起相反的作用。例如，为了消除天平不等臂误差，可采用"复秤法"，即交换被测物和砝码的位置再测一次，取两次结果的平均值。

3. 补偿法

例如在量热学实验中，采用加冰降温，使系统的初温低于环境温度而吸热，以补偿在升温时的热损失。

4. 对于实验中，由于方法（例如伏安法测电阻）或人员（例如观测者对准目标时习惯偏向一方）引起的系统误差，应逐项进行分析、并予以修正。

三、系统误差的结算

在物理实践中，经过以上处理，测量结果的系统误差已经减小到仪器测量精度以下。但由于系统误差产生的原因极其复杂，无法把它完全消除或修正掉，在有的实验中，系统误差是构成测量结果的主要误差。因此，必须对测量结果中的系统误差进行估算。

计算误差时，根据系统误差和偶然误差互不影响的原则，把系统误差和偶然误差分开来讨论。上节讨论偶然误差时，不管系统误差，好像它不存在一样；这里讨论系统误差，也不管偶然误差，好像

它也不存在一样。算完后，用系统误差去修正测量结果，而偶然误差用来描述修正后测量结果的精密程度。

1. 单次直接测量的误差估算

有的实验由于条件不许可(如在动态中测量)；有的实验的精密度要求不高；或在间接测量中，其中某物理量的误差对最后结果的影响较小等，对物理量 x 的直接测量只进行一次，得到测量值为 x'，这时，既得不到平均值 $\bar{x}$，也无法求出测量结果的平均绝对误差 Δx 和标准误差 σ_x。在这种情况下，我们不再去区分系统误差和偶然误差，而将测量值的误差，用仪器误差 $\Delta_{仪}$ 表示。测量结果为

$$x = x' \pm \Delta_{仪}。 \tag{1-14}$$

如不知仪器精度，就用该仪器最小分度值的一半来表示。即

$$x = x' \pm \frac{1}{2}(最小分度值)。 \tag{1-15}$$

2. 多次直接测量中系统误差的估算

在物理量 x 单项直接测量结果中，其系统误差为 $\Delta^* x$。根据系统误差的性质，多次等精度的测量无法减小系统误差。所以，多次直接测量结果中的系统误差，仍为 $\Delta^* x$。这时直接测量结果表示为

$$x = [\bar{x} \pm \Delta^* x] \pm \sigma_x(或\ \Delta x)。 \tag{1-16}$$

(1-16)式中的 $\Delta^* x$，通常仍用 $\Delta_{仪}$ 来表示。

3. 间接测量中系统误差的传递

在间接测量中，直测量的系统误差，通过与复合量的函数关系传递下去。复合量的系统误差，可用算术传递公式来计算。常用函数的算术传递公式如表 1-2。

系统误差的传递和偶然误差的传递互不影响，分别计算出复合量 N 的系统误差 $\Delta^* N$ 和偶然误差 σ_N 后，最后的测量结果表示为

$$N = [\bar{N} \pm \Delta^* N] \pm \sigma_N(或\ \Delta N)。 \tag{1-17}$$

§1.4 有效数字及其运算规则

一、有效数字的一般概念

1. 有效数字

任何一个物理量，其测量结果必然存在误差。因此，表示一个物理量测量结果的数字取值是有限的。

我们把测量结果中可靠的几位数字，加上可疑的一位数字，统称为测量结果的有效数字。例如，2.78 的有效数字是三位，2.7 是可靠数字，尾位“8”是可疑数字。这一位数字虽然是可疑的，但它在一定程度上反映了客观实际，因此它也是有效的。

2. 确定测量结果有效数字的基本方法

(1)仪器的正确测读

仪器正确测读的原则是：读出有效数字中可靠数部分是由被测量的大小与所用仪器的最小分度来决定。可疑数字由介于两个最小分度之间的数值进行估读，估读取数一位(这一位是有误差的)。

例如，用分度值为 1mm 的米尺测量一物体的长度，物体的一端正好与米尺零刻度线对齐，另一端如图 1-1。

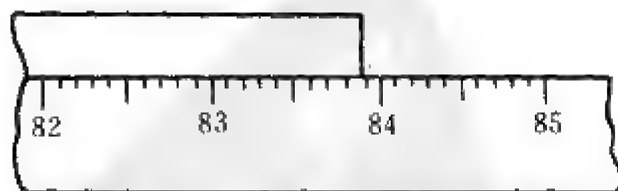


图 1-1

此时物体长度的测量值应记为 $L=83.87\text{cm}$。其中，83.8 是可靠数，尾数“7”是可疑数，有效数字为四位。

(2)对于标明误差的仪器，应根据仪器的误差来确定测量值中可疑数的位置。例如，一级电压表的最大指示误差 $\Delta V=\frac{1}{100}\times V_m$，$V_m$ 为最大量程，若 $V_m=15V$，则

$$\Delta V=\frac{1}{100}\times 15V=0.15V。$$

所以用该电压表测量时，其电压值只需读到小数点后第一位。如某测量值为 12.3V，若读出：12.32V，则尾数“2”无意义，因为它前面一位“3”本身就是可疑数字。

(3)测量结果的有效数字由误差确定。不论是直接测量还是间接测量，其结果的误差一般只取一位。测量结果有效数字的最后一位与误差所在的一位对齐。如 $L=(83.87\pm0.02)$cm 是正确的，而 $L=(83.868\pm0.02)$cm 和 $L=(83.9\pm0.02)$cm 都是错误的。

3. 关于“0”的问题

有效数字的位数与十进制的单位变换无关。末位“0”和数字中间的“0”均属于有效数字。如 23.20cm；10.2V 等，其中出现的“0”都是有效数字。

小数点前面出现的“0”和它之后紧接着的“0”都不是有效数字。如 0.25cm 或 0.045kg 中的“0”都不是有效数字，这两个数值都只有两位有效数字。

4. 数值表示的标准形式

数值表示的标准形式是用 10 的方幂来表示其数量级。前面的数字是测得的有效数字，并只保留一位数在小数点的前面。如 3.3×10^{5}m　8.25×10^{-3}kg等。

二、有效数字的运算规则

在有效数字的运算过程中，为了不致因运算而引进误差或损失有效数字，影响测量结果的精确度，并尽可能地简化运算过程，因此，规定有效数字运算规则如下(例中加横线的数字代表可疑数字)：

1. 有效数字的加减

例

$$
\begin{array}{r}
43.\bar{7} \\
+\ 8.42\bar{4} \\
\hline
52.\overline{124}
\end{array}
\quad \Rightarrow \quad
\begin{array}{r}
43.\bar{7} \\
+\ 8.\bar{4} \\
\hline
52.\bar{1}
\end{array}
$$

在这个结果中,52 以后的 $0.\overline{124}$均是可疑数字,它的后两位没有保留的必要。

例

$$
\begin{array}{r}
51.6\bar{8} \\
-\ 4.\bar{3} \\
\hline
47.\overline{38}
\end{array}
\quad \Rightarrow \quad
\begin{array}{r}
51.\bar{7} \\
-\ 4.\bar{3} \\
\hline
47.\bar{4}
\end{array}
$$

在上面两例中,我们按数值的大小对齐后相加或相减,并以其中可疑位数最靠前的为基准,先进行取舍,取齐诸数的可疑位数,然后加、减,则运算简便,结果相同。

2. 有效数字的乘除

例

$$
\begin{array}{r}
5.12\bar{6} \\
\times\ 0.4\bar{2} \\
\hline
\overline{10252} \\
2050\,4\ \ \\
\hline
2.\overline{15292}
\end{array}
\quad \Rightarrow \quad
\begin{array}{r}
5.\bar{1} \\
\times 0.4\bar{2} \\
\hline
\overline{102} \\
20\bar{4}\ \ \\
\hline
2.\overline{142}
\end{array}
$$

根据可疑数字仅保留一位的法则,结果应写成 $2.\bar{1}$或 $2.\bar{2}$由于它们小数点后面是可疑数字,允许有所不同。

例

$$
\begin{array}{r}
39\bar{2} \\
12\bar{3}\,\overline{)\,482\bar{2}16} \\
36\bar{9}\ \ \ \\
\hline
1131\ \ \\
\hline
1107\ \ \\
\hline
246 \\
\hline
246 \\
\hline
0
\end{array}
\quad \Rightarrow \quad
\begin{array}{r}
3.9\bar{2}\times10^{2} \\
12\bar{3}\,\overline{)\,48\bar{2}\times10^{2}} \\
36\bar{9}\ \ \ \\
\hline
1130\ \ \\
\hline
1107\ \ \\
\hline
230\ \
\end{array}
$$

结果应写成 $3.9\bar{2}\times10^{2}$。

从以上两例中可得如下结论:诸量相乘或相除,以有效数字最少的数为标准,将有效数字多的其它数字,删至与文相同,然后进行运算。最后结果中的有效数字位数与运算前诸量中有效数字位数最少的一个相同。

3. 有效数字的乘方和开方

有效数字在乘方和开方时，运算结果的有效数字位数与其底的有效数字的位数相同。

例 $12.\bar{5}^2=15\,\overline{6.25}$ ⇒ $12.\bar{5}^2=15\bar{6}$；

$\sqrt{43.\bar{2}}=6.5\,\overline{73}$ ⇒ $\sqrt{43.\bar{2}}=6.5\bar{7}$。

4. 对数函数、指数函数和三角函数的有效数字

例 $\lg198\bar{3}=3.297327$ ⇒ $\lg198\bar{3}=3.297\bar{3}$

对数函数运算后，结果中尾数的有效数字位数与真数有效数字位数相同.

例 $10^{1.025}=10.5925$ ⇒ $10^{1.025}=11$。

指数函数运算后，结果中有效数字的位数与指数小数点后的有效数字位数相同；

例 $\sin3\bar{0}^\circ=0.5$ ⇒ $\sin3\bar{0}^\circ=0.50$；

三角函数的有效数字位数与角度有效数字的位数相同。

三、有效数字尾数的舍入规则

1. 若舍去部分的数值小于所保留末位数的 1/2，末位数不变

例 2.749 ⟶ 2.7。

2. 若舍去部分的数值大于所保留末位数的 1/2，末位数加 1

例 32.551 ⟶ 32.6。

3. 若舍去部分数值恰好等于所保留末位数的 1/2，当末位数为偶数时，保持不变；当末位数为奇数时，末位加 1

例 5.7850 ⟶ 5.78；

6.5750 ⟶ 6.58。

§1.5 实验数据处理

实验工作中，不可缺少的环节之一是记录和整理观测数据，从

而对实验进行全面的分析和讨论，从中找出所研究问题的规律和结论，这就是实验数据处理的目的。在记录和整理实验数据时，常用列表片和作图法。

一、列表法

在记录和整理数据时，常常把数据列成表格，可以简明地表示有关物理量之间的对应关系，以便得出正确的结论或获得经验公式。在列表处理实验数据时应做到：

(1)简单明了，便于看出有关量之间的关系。

(2)表明所列表格中各符号所代表的物理量，写明其单位。物理量的单位应写在标题栏目中，不要重复地写在各个数值的后面。

(3)表格中的数据要正确反映被测物理量的有效数字。

(4)必要时可以加注说明所列表中数据的其它情况。

(5)写清表名、实验日期。

二、作图法

物理实验中得出的一系列数据，若用图线来表示，可以比较直观地表达所测物理量之间的关系。有时还可以不通过计算读得某种情况下各物理量的对应关系值。如果图线是根据许多数据点描出的光滑曲线，则作图法具有求出多次测量值平均效果的作用，并能对平均值进行修正。图线还可以帮助发现个别观测量的错误，并可通过图线对系统误差进行分析。有的情况下，能简便地从图线中求出实验所需的某些结论。

用图示法表达物理量之间的关系，要注意以下作图方法。

(1)要作好一张实验图线，首先要选择合适的图纸，最常用的图纸是直角坐标纸。图纸的大小，原则上以不损失实验数据的有效数字和能包括所有的实验点为最低限度，即图纸上最小分格至少应与实验数据中最后一位准确数相当。

(2)合理选轴，正确分度。一般以自变量为横轴、因变量为纵

轴，并且顺轴的方向注明该轴所代表的物理量和单位。

坐标轴确定以后，还要在轴上均匀地标明坐标分度，分度应使每一个点的坐标值能迅速方便地读出，并应使作出的图线比较对称地充满整个图纸而不偏于一边或一角。坐标的起点可以不从零开始，两轴的比例也可以不同。

(3)正确标出实验数据的坐标点。测量数据点常用“+”符号标出，并使交叉处正好落在数据点上。如果在同一坐标纸上要画几条图线时，则每条图线上的数据点分别用+、⊙、×、回等符号，以示区别。

(4)连接实验图线。连接实验图线有两种方法：一种是直接将各点用直线连接起来，成为一条折线。这一般在数据点过少，并且自变量和因变量的关系难以确定时采用。多数情况下，由于物理量之间的关系在某一定范围内是连续的，因此应根据图上各数据点的分布和趋势，作出一条连续且光滑的曲线或直线。由于实验有一定的误差，所以图线不一定要通过每一个数据点，只要求它们离图线很近且匀称，合理地分布在图线两侧。

(5)图注和说明。作完图后，在图纸上明显的位置标明图名、作者和作图日期。有时还可附上简要的说明，如实验条件、数据来源等。

例 表1-3和图1-2均表示一项实验中，通过一段导体电流强度I和导体两端电压的关系

表1-3 电流强度与电压的关系

U(V)	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
I(mA)	0.00	2.00	4.01	6.03	7.85	9.70
U(V)	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	
I(mA)	11.83	13.75	16.02	17.86	19.94	

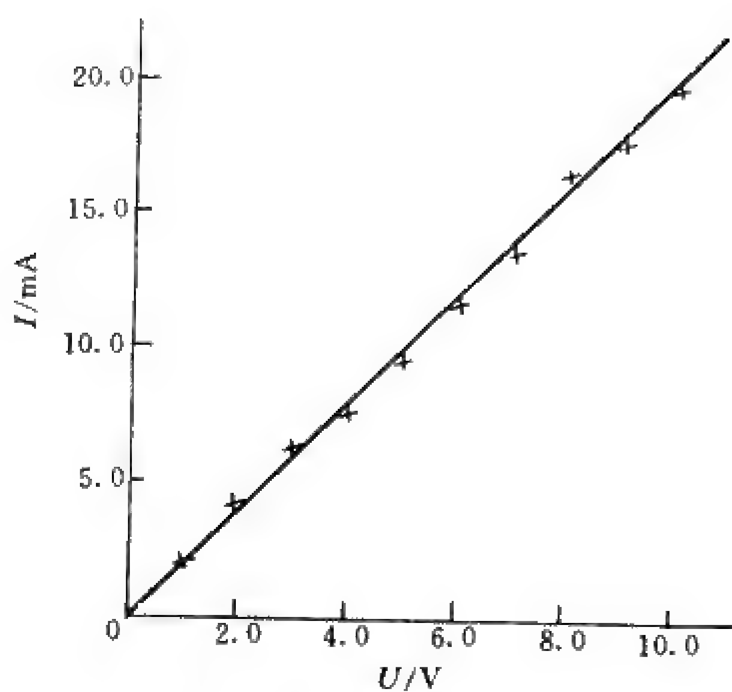


图 1-2　电流强度和电压关系曲线

第二章　中学物理实验教学概述

本章从阐述物理实验是中学物理教学的基础开始，探讨了中学物理演示实验的类型及其教学特点、教学方法。通过研究学生的学习心理，对教师的演示实验提出了具体的要求。

§2.1　实验教学是中学物理教学的基础

物理学是从科学实验中发展起来的自然科学，从伽利略(Galileo Galilei 1564～1642 意大利)创立用实验方法研究物理现象以来，物理学得到了飞速的发展。近代物理学的兴起和发展都是在实验的基础上取得的，实验是物理学研究的一个重要方法，也是物理学的重要基础。

中学物理教学的目的，是使学生比较系统地掌握学习现代科学技术和从事社会主义建设需要的物理基础知识，了解这些知识的实际运用，要培养学生的观察，实验能力，思维能力，分析和解决实际问题的能力。因此，中学物理教学必须以实验教学为基础，这也是由这门学科的本身特点以及实验教学在中学物理教学中的重要作用所决定的。

一、实验教学是使学生获取物理知识的重要来源

中学物理是建筑在现象观察和实验分析基础上的自然学科，物理教学的全部过程应该是实验的。从辩证唯物论的认识论来看，观察和实验是取得感性材料的方法，也是使学生认识自然的基本手段。

科学开始于实验观察。物理学的发展史表明，离开了科学的实验观察，根本不可能建立起当今的科学大厦。没有大量的天文观察，哥白尼(Ncolaus Copernws 1473～1543)的日心学说的理论基础就无法建立起来。开普勒(Johannes Kepler 1571～1630)正是以第谷(Brahe Tycho，1546～1601)大量观测数据为基础，总结出了行星运动三大定律。哈雷(Hallcy 1656～1742)根据牛顿(Newton 1642～1727)的引力学说，收集大量的慧星观测纪录，并亲自进行天文观测，成功地预测了哈雷慧星的周期。

在同学们的生活中，他们开始注意到物体的各种运动和状态的变化。但是，他们往往并未进行深入的探讨和研究，更不会运用一定的有效手段，排除不必要的干扰因素。在人为的控制和模拟物理现象的条件下，突出物理现象的主要因素和本质特征，从而发现客观物理过程的规律性。中学物理实验教学正是帮助学生认识光现象、声现象、热现象、电现象、磁现象等等物理现象。

实验教学，不仅可以使学生具备一定的感性认识，更重要的是可以使学生进一步加深理解物理概念和定律是在怎样的实验基础上建立起来的，因此能更好地帮助学生形成概念，导出物理规律，掌握理论，正确而深刻地领会物理知识。

有人认为，在学习物理概念和规律时，可以通过课堂讲述，利用学生的生活经验来代替课堂实验。这种想法是片面的，也不妥当。因为学生的生活经验有其局限性、片面性，甚至于是错误的。如果单凭学生的生活经验来建立物理概念和定律，往往会产生错误的结论。例如每个人从小到大，每天都在运动和用力，对力和运动都有着丰富的实践经验，但他们常常注意的是力和运动的某些外部现象，而不能抓住问题的实质，因而在大脑中形成的是一些不完整的概念。例如，学生看见人力车停在路上不动，人一使劲就可以使之运动起来，于是认为：物体运动一定要外力维持，没有外力，物体就不会运动起来。这样就把力和惯性的概念混淆了。

实践证明，理论教学在学习物理中是很重要的，但实验教学也

应有其同样重要的地位。物理实验教学能创造一种适合于课堂教学活动的物理环境，能使学生以最快捷、最有效的方式掌握前人已经认识到的真理。

教学经验丰富的物理教师，一般都十分重视实验教学，他们通过一些精心设计的实验，使学生形成正确的、完整的物理概念，奠定牢固的物理学知识基础。

二、实验教学能有效地培养学生能力

中学生经过物理课的学习之后，无论将来是走向社会，或是走向高一级学校深造，都应该具备三种能力。这三种能力就是：观察能力、动手能力、探索能力。

1. 实验教学能有效地培养学生的观察能力。

观察是一种有目的、有计划、有思维的知觉活动，是动员有关感官参加的有意识感知过程。从认识的过程来说，人们感觉外部世界时的最初直觉只能是混沌的印象，不会一下子就形成明确的知觉，必须在观察的同时进行初步思维，才能对对象的细节及其关系形成感性认识。所以，观察又被称为“思维的知觉”。

对实验现象的观察有三个阶段：看见——→看清——→看懂。这三个阶段对应着的认识过程是：直觉——→感知——→理解。完成这三个过程需要良好的观察能力。

所谓观察能力，是指准确、迅速、深入、全面地捕捉对象特征的能力，是善于察觉事物之典型而不显著特征的能力。达尔文曾经说过：“我既没有突出的理解力，也没有过人的机智。只是在觉察那些稍纵即逝的事物并对其进行精细观察的能力上，我可能高于众人”。显然，没有过人的观察能力，伦琴不会发现 X 射线，居里夫妇也不会发现铀。

毫无疑问，过人的观察能力只会来自于实践。学生的实践，主要来自于课堂上的实验教学（教师应该怎样通过实验教学培养学生的观察能力将在本章 § 2.4 讨论）。

不同的物理现象，需要不同的观察仪器；同一物理现象，可以用不同的观察方法。这一切，学生在日常生活中不容易做到，也不可能在书本上培养出过人的观察能力。达尔文、伦琴、居里夫妇正是经过了远远多于普通人的实验之后，才锻炼出超乎常人的观察能力。

2. 实验教学能培养学生的动手能力

这里的动手能力，主要是指实验的基本操作技能。

实验的基本操作技能有三：①较准确熟练地使用基本物理仪器(包括对仪器的原理、构造和性能的了解)；②能用基本的常用仪器对有关实验进行配套组装和简单故障的排除；③能自行设计展示简单物理现象与规律的“小制作”。

实验教学必须以学生为主体，除了教师的演示实验，其它实验教学应考虑让学生能充分发挥主观能动性。学生动手就必须动脑，实验是手脑并用的实践活动。俗话说“心灵手巧”。这里“心”就是大脑。没有大脑的灵活思维，就不可能使手运用自如。怎样才能“心灵手巧”呢？有一句俗话正好是这个问题的注解，这句话说“熟能生巧”。这里“熟”即是通过大量实验教学让学生逐渐熟练掌握实验的基本操作技能！

3. 实验教学能培养学生的探索能力

关于物理实验的探索能力，主要是指运用实验手段去探索物理知识的本领。教学实验应该让学生掌握探索物理规律所进行的科学实验方法。教学实验与科学实验并不相同，后者要经过漫长而曲折的过程。教学实验却有两个显著的特点——走捷径与高效率。显然，谁也不会强求教师将真正的科学实验过程搬到讲台上重演。但是，实验教学却可以通过教学实验，培养学生掌握科学实验的探讨方法。例如：怎样通过发现问题而确定研究课题；怎样根据需要研究的课题来确定实验研究的方法；怎样由实验研究方法来确定实验研究的器材；怎样设计实验；怎样判定某一理论的真伪；怎样进行观测；怎样进行数据处理；怎样检验所得出的结论是否正确等

等。

新编中学教材中，增加了大量的学生“小制作”，其良苦用心在于培养学生创造性的探索能力。笔者曾通过实验教学发现，同一“潜水艇”模型，学生选用的材料五花八门，制作的模型也形形色色。在某些细微的地方，甚至于会为学生的探索能力大吃一惊！

这里要说明一点：对学生物理实验能力的培养，过去往往强调对实验仪器的操作技能的培养，这种观点有些片面。从现代教学思想的观点看，只有在加强对实验仪器的基本操作技能培养的同时，着眼于对学生实验探索能力的培养，致力于改善学生的智能结构，发展学生的创造能力，才能培养出勇于接受世界新技术革命的挑战，勇于开拓与勇于创新的一代新人。

三、实验教学能培养学生的科学态度与科学作风

科学是在实事求是的基础上才得以发展起来的。伽利略正是本着实事求是的态度，才否定了亚里士多德(Aristo letes 前 382～前 322)的许多谬论。牛顿正是本着实事求是的科学态度，才登上了自然科学史上的第一座山峰。物理实验教学首先推崇实事求是，如果不是求是精神，那么实验观测就失去意义。倘若胡乱编几个数据来敷衍，物理学就永远也不会向前发展，科学将停滞不前。

实验教学应该注意培养学生尊重事实、严肃认真、按科学规律办事的科学态度。教师应该按实验规则操作，实事求是地对待实验结果。鼓励学生从实际出发，独立思考，精心实验，如实记录，严肃地对待学习。

实验中不可避免会出现许多偶发事件。当一些突如其来的事件出现在面前时，既不能把它当作微不足道的小事轻易放过，也不能未经缜密思考而妄下结论。在这一点上，我们教师的素质更是显得十分重要。

另外，科学需要献身精神。在物理学发展史册上，记载着许多科学家为了追求真理，不惜奉献毕生的心血甚至于生命。谁也不会

忘记布鲁诺(Giordano Bruno,1548～1600),是他积极宣传哥白尼学说,面对教会的迫害始终捍卫科学的真理,以至于 1600 年 2 月 17 日被活活烧死于罗马鲜花广场。谁也不会忘记利赫曼,是他为了证明空中的闪电与实验室里的电现象是同一现象,在雷雨交加的旷野,用金属丝放风筝捕捉闪电,不幸被电击中而献身。培养学生献身科学的精神,基于培养学生热爱科学、热爱祖国的教育之中。

我们要通过实验教学培养学生严谨的科学态度与踏实肯干、兢兢业业的科学作风,这将能使学生建立科学的世界观。我国著名科学家钱三强曾在《要重视物理实验课》一文中说道:“科学态度和科学作风是一个人优良品德的重要组成部分。……对于一个人成就事业的重要性,丝毫不亚于他们的知识和能力,甚至可以说更重要”。

§2.2　中学物理实验的教学功能

中学物理实验的教学功能,简单地说,就是物理实验在中学物理教与学过程中所起的作用问题。

这个问题并不新鲜,前人早已有很多的论述,其中有许多真知灼见。这个问题看起来也不复杂,似乎答案显而易见,不必深究。然而,这个问题无论在理论上还是在实践上都还有待澄清和进一步探索。例如:物理实验在整个物理教学中究竟处于什么地位?是教学手段呢,还是教学方法?或者还是别的什么?在教学实践中,我们感到物理实验对教学确有作用,但这些作用是不是物理实验所特有的?近年来不少现代化教学手段率先渗透到物理教学领域中:计算机模拟实验、演示实验录相片、激光电视唱片等等,它们以其独特的优点吸引了人们的关注,对传统的由教师和学生操作真实仪器的实验方式不能不说是一个冲击。那么是否有必要花费人力、

财力去精心准备和实施那些颇费时间的真实实验呢？这些实验教学的独特功能是如何在教与学的过程起作用的？

一、物理实验的感觉功能

实验教学过程中，学生必须看、听、动手等进行实践，通过感觉和知觉对客观世界进行认识，并通过头脑反映出物体的各种物理属性，各个部分及整体运动与静止的形象，这就是物理实验的感觉功能。

美国物理教师协会主席乔·梅尔曾引用一段他的老师的格言说：

“讲给我听，我将忘记……

演示给我看，而我将记得……

与我有关，我一定要学……”

这说明：听、看、动手在教学中的作用并不完全一样，一般授课是以听为主，看为辅。而在实验教学过程中学生的听、看、动手这几方面都同时调动起来。这种功能是理论教学所没有的。

物理实验的感觉功能中，最重要的是科学观察。

众所周知，科学观察是人们通过感官或借助科学仪器，有目的、有计划地感知客观对象从而获得科学事实的活动。特别是近代科学兴起的实验方法，本质上就是一种人为创造条件地、受控地观察。因此，观察是科学研究中最基础最广泛的实践活动，也是实验教学中的重要环节。无论是演示实验，学生分组实验还是课外实验都离不开科学观察。

教师首先应当在教学中，告诉和启发学生怎样观察，观察些什么？通过观察要知道些什么？例如：把水和水银都装在玻璃容器内，它们的液面如图 2-1 所示。倘若学生不仔细观察，不会发现它们液面形状的差异。若教师没有启发学生正确仔细地观察，告诉学生正确读数的方法，学生也就无法掌握对观察结果的读数，不能充分地发挥物理实验的感觉功能。

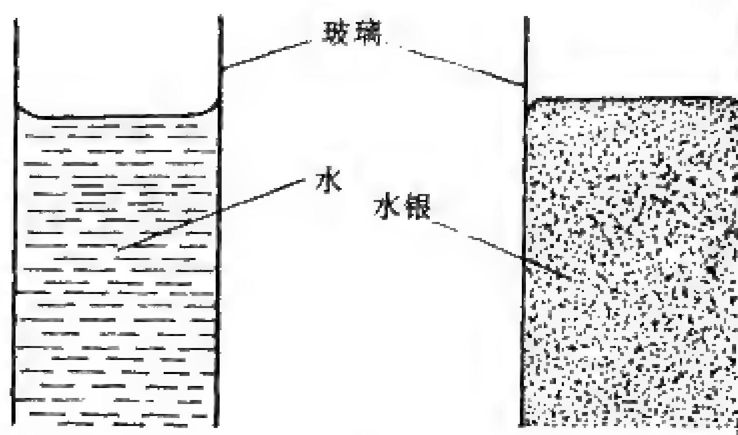


图 2-1

对于同一现象，观察者还会存有不同的认识和观念，也就是有着不同的感知效果。例如同一张 X 光照片，在医生那里可以是诊断病情的重要资料，在外行那里毫无用处。

物理实验的感觉功能，还体现在观察与理论的联系之中。对同一对象产生的现象，有的同学在观察中知道应该把理论知识运用于现象观察之中，但大多数同学都往往表现出更愿意接受观念中的事实的倾向。在第四届全国中学生物理竞赛江西赛区预试第二试题中，有这样一个实验试题，如图 2-2 所示。题目的意思是：当光源 A 通过透镜 O 在光屏上成一倒立、放大实像的情况下，如果拿

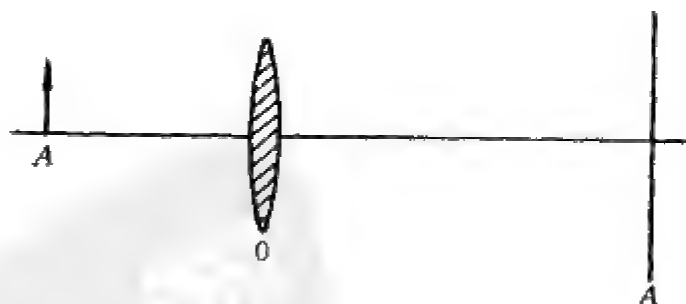


图 2-2

走光屏，留下光源和透镜，你还能在 B 点看到实像吗？这个问题的

正确的解法是将眼睛置于光屏原来位置之后，可以看到原来光屏位置处所成的像。然而根据现场统计，约四分之三的同学是直接将眼睛放在 B 处去观察，以为以眼代屏，即可看到像。特别是其中一半以上的学生一直没有放弃这种观察，尽管他们一再睁大眼睛在 B 处看不到他们认为应该看到的像，却一直未移动观察点，最后还是在答卷上写下了“在 B 处看到一个倒立放大的实像”之类的观察记录。

这个例子说明学生头脑中原有的将眼睛的作用等同于光屏的观念对当时的观察起了多大的影响！所以正确地将观察与理论联系起来，才能充分有效地发挥物理实验的感觉功能。

在物理实验中，科学的观察应视为与理论有机联系的整体过程。同理，物理实验的感觉功能的作用过程也是充满理论的探索过程。所以物理实验不能只被当作附属于理论，服务于理论的手段和工具，而是本身充满理论的认识过程，因而把实验教学仅仅看作是为学生学习理论提供感性材料，为理解疑难概念铺设台阶的观念，都是不完整的。

物理实验的感觉功能，有助于培养学生手脑并用的能力。学生自己动手做实验，必须先了解实验原理。在操作实验仪器，观察实验现象时，学生都必须有思维的指导。而在思维指导下的熟练操作，往往又是创造产生的源泉。

二、物理实验的训练功能

中学物理实验教学的过程中，物理实验还有着训练学生学习掌握测量工具、物理仪器的教学功能。通过物理实验训练学生学习掌握科学研究的方法。

科学研究的方法很多，实验即是一种基本的科学研究方法。

我们将中学物理实验按其训练功能分类，大致分为五类。各种类型的实验，在实验教学中有不同的训练功能。

1. 练习性实验

这类实验主要目的是训练学生掌握物理测量工具和仪器基本技能，为其它物理实验做好准备。

例(1)用温度计测量温度；

(2)用天平称物体的质量；

(3)练习使用电磁打点计时器；

(4)练习使用万用电表测电阻；

(5)练习使用示波器。

这类实验的教学基本程序：

了解→检查→测量→掌握。

2. 观察性实验

这类实验主要目的是训练学生掌握科学观察的基本方法，了解某些基本物理现象。

例(1)研究萘的熔解过程；

(2)观察布朗运动；

(3)观察磁铁对电流的作用；

(4)观察双缝干涉现象；

(5)观察超重与失重现象。

这类实验的教学基本程序：

设疑→观测→分析→结论。

3. 归纳性实验

这类实验是为了训练学生掌握实验归纳方法。

实验归纳法是一种由个别到一般的认识方法，物理学正是根据研究的目的，人为地控制条件，从大量的实验事实中找出普遍特征从而形成规律。

例(1)全电路欧姆定律的演示；

(2)研究加速度与力、加速度与质量的关系；

(3)理想气体三定律→理想气体状态方程；

(4)演示电磁作用的法拉第电磁感应定律。

这类实验的教学基本程序：命题→观测→归纳→结论

4. 验证性实验

这类实验的教学目的是训练学生掌握实验验证法。

实验前，一定不要让学生确认结论就是千真万确的真理！

实验验证法即实验演绎法，是一种推理判断在前，实验验证在后的研究方法。物理学家们常常在已知的物理推论或者哲学思想的基础上经过推理，作出假设和预言，通过实验检验它的真理性，最后肯定或否定论断，得出可靠的结论。

这类实验可以训练学生将想象推理、判断等思维形式紧密结合起来，使学生认识能力充分发展。它鼓励学生大胆设想，勇于创新，发展预见能力。

例(1)共点力的合成；

(2)验证向心力的公式；

(3)碰撞中的动量守恒；

(4)验证机械能守恒定律；

(5)验证波一马定律；

(6)验证理想气体状态方程。

这类实验的教学基本程序：

推理→测量→验证→结论。

5. 理想性实验

理想性实验的目的是训练学生了解想象实验的思维方法。

理想性实验是在已有实践的基础上，经过合理推论、判断得出的理想条件下，研究物理规律的一种方法。

中学物理教学中需要借助这种研究方法，帮助学生建立概念和认识规律，可以发展学生想象与逻辑推理能力。

例(1)建立“即时速度”概念；

(2)伽利略研究物体惯性和无摩擦斜面实验；

(3)建立“电场强度”的概念。

这类实验的教学基本程序：

奠基→想象→推论→结论。

三、非语言传播功能

春雨“润物细无声”。中学物理实验教学，也如同春雨无声的地润万千生物一样，无声地用自己的言行举止教育着学生。这种非语言传播功能也可以叫着身教功能。身教功能即教师在实验教学中，通过自己的行为方式，培养学生的科学态度与科学作风。

生动直观的实验，可以大大地吸引学生的注意力，激发学生学习物理的兴趣与求知欲。当学生对物理学发生兴趣，积极主动地学习时，教学就能达到事半功倍的效果。

例如：在讲到浸润概念时，演示一下“能盛水的筛子”。先用筛子盛水，自然筛子无法装住水。然后将筛子在石蜡里浸一下之后，再来盛水——筛子居然能盛水了！

实验中，使用一件件仪器及其用组合仪器进行实验时。教师的行为方式，一举一动都是一种无声的语言，而这种无声的教育作用是不可低估的。

科学的实验本身就要求实验者具有实事求是、老老实实的态度。我们可以通过自己的实验行为和实验态度严格要求学生——实事求是，忠于实验数据；尊重客观事实，避免主观臆断；严谨治学，切忌粗心大意；理论联系实际，不怕困难与失败；活跃思维，培养创新精神等。

实验教学中，会发生许多偶然事件，有些是意料中的，但大多数是意料之外的。当这类偶然事件出现后，既不可忽视它，以为是微不足道的事情而轻易放过。也不可惊慌失措，胡乱解释进行敷衍。

例如：当验电器带上一种已知电荷，另一带电体带有异种电荷逐渐靠近验电器。如果带电体所带电荷不多，验电器的指针张角应略微减小。但是，如果带电体所带电荷非常大时，验电器的指针张角反而会变大。出现意外现象时一定不能胡乱猜测或臆断，只有经过周密严谨的思考后再作出正确的回答。即使有些问题当场不能

回答，也应存疑放到以后查阅资料进行研究。教师时刻不能忘记自己无言的行动都是师范。

四、物理实验的评价功能

长期以来，我们对学生掌握物理知识的评价形式是采用纸笔型测验，而较少注重通过实验的评价功能来诊断，分析学生的学习困难和学习规律。

《国际物理教学通讯》1989 年第 2—3 期第 2 页上 E·Ljosscm 这样说："实验室工作和实验车间工作，……体现了诚实。因为用实物而不是言辞表达自我时，你无法用模棱两可的手法掩饰自己的含混和无知"。故我们可以把物理实验作为一种探测学生理解，评价学生学习成绩的手段。

用物理实验来作为评价手段，有如下优点：

(1)有助于评价学生观察、分析能力；

(2)有助于评价学生理解、动手能力；

(3)有助于评价学生的创造能力。

关于利用实验教学进行考核的问题，下面会有更详细的讨论，这里就不再赘述。

总而言之，纸笔型测验与实验考核用来评价学生学习物理的情况，各有长处与不足，应互相取长补短。

§2.3 实验考核问题初探

为了衡量物理实验教学效果，考查学生学习物理课后的动手与分析能力，必须重视实验考核。

以前，关于实验的评价功能，大家都重视不够，认为实验做完了，实验的作用也就仅此而已。近几年，人们逐渐注意到实验的评价功能，发现通过实验考核，不仅促进学生重视实验，而且还可以

用来分析学生掌握物理知识的程度，探测学生对概念的理解，提高学生动手能力，以利于设法改进物理教学。

但是，还有一系列的问题有待解决。例如：考核什么？如何考核？如何省时省力考出学生真正实验能力及水平？

下面仅就考核问题进行一些初步探讨。

一、实验考核的意义

1. 能比较全面反映和考查学生的实际知识水平，有利于培养他们观察、分析和解决问题的实际知识水平，并达到深化物理理论知识的目的。

2. 提高了学生对实验的兴趣和重视程度。尤其对差生促进更大。

3. 推进了平时的课堂教学，尤其推动了实验教学和学生实验。由于决定了学期结束前要进行实验操作考试，学生在平时实验中，显得特别认真仔细，而不再蒙混过关了。

4. 减轻了毕业班任课教师和学生在物理总复习中的负担。教师在复习物理实验中只要稍作点拨，学生便可自己动手，无需呕心沥血，重砌炉灶。

二、实验考核内容

考查学生观察、操作、手脑并用、数据处理与误差分析，正确写出实验报告。对高层次学生，还应包括实验设计等方面。按照安忠、刘炳昇书中所说考核内容含六个方面。参看下表 2-1。

当然，不可能全部内容一次考核，可以利用小测验、课堂提问、期中、期末考试等时间分别考核。

三、实验考核的形式

实验考核一般有操作、口试、笔试三种，采用何种考试方式，应该根据考核的内容、形式、设备条件来具体决定。可以将这三种方

式分开进行，也可以同时考核。

表 2-1　实验考核表

考　核　内　容	具　体　要　求
编写实验计划的能力	理解实验原理，编写实验步骤，设计记录表格。
动　手　能　力	安装及调整仪器，按一定顺序操作，会使用有关工具，并达到一定的工艺水平。
观　察　能　力	正确选择观察目标，观察迅速，读数准确，判断正确。
处理数据的能力	运用有效数字表示测量数值，正确运算和描绘图线。
分析与总结能力	分析结果，用公式或文字表述规律，写出实验报告。
实　验　素　养	注意实验环境，遵守操作规程，实事求是，不怕困难，不失机遇，爱惜器材。

1. 操作考核

操作考核分：

①单项操作；②模仿性操作；③系统操作。

单项操作考核是指对仪器某个部分进行操作。例如：仪表调零；天平底座调成水平；电流表的读数等等。

模仿性操作考核是指学生在观察老师操作一遍后，马上模仿操作一次，记录成绩。

系统操作考核是指学生对某个实验的整个过程进行操作。这种考核一般是用来测试学生对已做过的学生分组实验的操作能力。

2. 口试

要求学生在课堂上口头回答教师的考核内容，这就是口试。这种方式还考核学生的口头表达能力。

口试可以用来考核学生对实验的目的、原理、实验仪器、要求、操作步骤等方面知识的掌握情况。这种考核方式可以不必非要有

实验仪器，因此比较灵活方便。

3. 笔试

笔试用来考核的实验内容比较普遍。例如：用笔来表示线路联接；用文字和图示的方法描述实验现象和分析因果关系；分析实验结果，用公式或文字表述规律，运算与描绘图线。

这三种形式的考核运用得好，可以在平时的教学中发挥作用。

四、实验命题要求

实验考核能否获得好的效果，关键在于命题质量。应该怎样来命题呢？

1. 要贯彻实践第一原则

无论是口试、笔试、操作都应强调实践第一。试题的答案，应是学生在实验中动手之后才能回答。实验考核不同于普通笔试，如果不做实验也能回答，则说明实验考核失去应有的作用。

例①不知道滑线变阻器结构，无法把连接线画正确，可能会将接线柱弄错。②不实践，无法写出用万用表正确测量不同电阻阻值的步骤。

2. 要注意考核学生的能力

命题内容不一定都是简单重复学生已做过的实验，应使学生灵活运用知识和技能。例如：要求学生做一个实验，来说明大气存在压强。

3. 考核的内容要有一定的覆盖面

要全面考核学生，考核内容要有一定的覆盖面。

考核时间短，又要尽量多考核一些内容，这确实有些矛盾。但是，可以一个实验考核一个问题，也可以将口试与操作结合起来，或者将笔试与操作结合起来。

4. 命题要有利于区分学生的实验水平

试题难度要适中，既要有基础题，又要有少部分“爬坡题”，这样才有利于考察学生的不同实验水平。

试题的分数最好采用百分制，每一小题的分给细一点。

5. 根据实验设备条件命题

用简单的仪器也可以考核学生操作读数、绘制图线、分析实验结果等能力。

农村和边远山区同样也能进行实验考核。虽然设备简陋，考核学生的能力依然有效。

五、实验考核的方法

1. 全班性实验操作考试

全班性实验操作考试是利用正课时间分班进行的。

考试前，先对几个实验能力较强的同学进行辅导，力求每一个(或几个)同学能完全掌握某个实验。

考试开始时，将这几个经过辅导的同学分派到每个小组(每组可四、五人；也可九、十人)，每个"小辅导员"负责这个组的考核工作。

"小辅导员"要认真仔细地考查，作好详细记录，当学生操作中遇到困难和故障时，"小辅导员"可以给予启发和指导，但必须让学生独立进行操作。最后"小辅导员"写好"考核评语"，并跟老师一起研究评定被考核学生的实验成绩(分"优"、"良"、"及格"、"不及格"四种)。

全班性考试过程中，老师要在全班进行全面跟踪观察，与"小辅导员"密切配合，并及时处理随时发生的各种疑难问题。

这种方法优点是：①考试对象虽多，但教师容易掌握实验考试现场。②一次可完成全班考试。

这种方法也有缺点：①各个"小辅导员"由于本身的素质，掌握评分情况不匀。②如果全班考同一个实验，或者全班每个组各考一个实验，会使考试面太窄。

2. 分组实验操作考试

分组实验操作可以由一个老师监考，也可以学生互相监考。

一个教师监考法 教师事先准备好同一组同学名单，并且把实验操作中，学生可能出现的情况列成一张表格。考试时，教师同时监测每个学生操作情况，对照表格画“√”，方法不对者画“×”，最后根据具体情况评分。这样一个教师一次可监考一个组。评分前，可先制定评分细则，步步评分。还可以模仿体操评分中的“扣分法”，哪一个步骤做错了，就扣去哪一步的分数。

学生互相监考法 将学生分成甲、乙、丙、丁四个组，每个组同学分别掌握一个实验的答案、评分表格和操作方法。然后依次互相监考，这样可以循环进行，每个组同学要监考其他几个组，又要去被其他几个组考试。

这种方法主要优点在于：①每一个学生至少熟悉一个以上实验；②学生们积极性高。

这种方法缺点是：学生之间开玩笑作弊，相互打高分。

§2.4 演示实验的类型及教学特点

中学物理演示实验是最受中学生欢迎的教学形式之一。

演示实验是中学物理教学中最重要的组成部分，也是实验教学的主要部分。通过演示实验教学，可以指导学生观察和分析物理现象，获得生动的感性认识，从而更好地掌握物理概念和定律。还可以培养学生观察和分析能力，逻辑思维能力和探索动手能力。

演示实验是保证教学质量的重要环节，重视和研究演示实验教学，可以提高中学物理教学水平。

分析演示实验在教学各个环节中的作用，一共可以分成四种类型。

一、引入课题的演示

教学目的：使学生对即将研究的问题产生兴趣，以便引入正

题。

教学要点：引人入胜，发人深思。

当学生初次建立某些物理概念之前，应该让学生有一定的感性认识为最好。这一类引入课题的演示，以建立感性认识为主，至于其中一些物理现象的解释，可以留待在后面的教学中去完成。

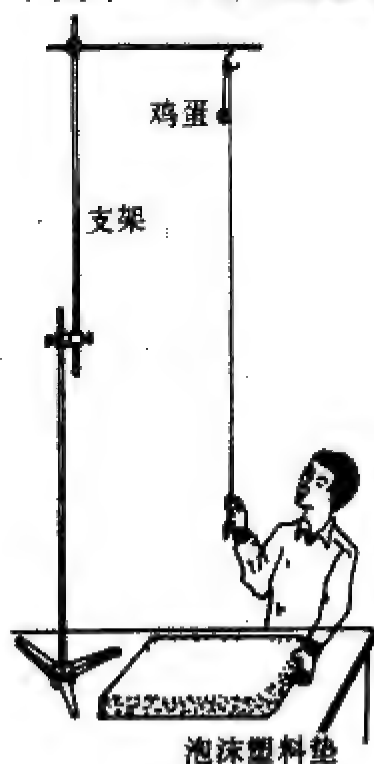


图 2-3

例如，高中物理中讲解“动量”这一章，为了使学生对即将研究的碰撞与冲击一类的问题产生兴趣，可以先做一个“鸡蛋高处下落”的演示实验，如图 2-3 所示。用透明胶粘一根棉线在生鸡蛋上，在鸡蛋的下方垫一两块泡沫塑料，利用物理支架将鸡蛋缓缓升高。随着鸡蛋的升高，学生的紧张心情加剧，唯恐鸡蛋掉了下来。鸡蛋升至最高点后，突然松手，鸡蛋凌空落下。随着学生惊讶的“啊”声，鸡蛋落在泡沫垫上并未摔碎，而是反弹向上。教师在鸡蛋反弹向上时立即用手接着鸡蛋。为了说明鸡蛋并不是假的，把这鸡蛋用手拿着在距桌面十几厘米处放手，鸡蛋落在桌上立即碰破，用手一掰，鲜蛋汁流入玻璃杯中。提问：“为什么鸡蛋从 1 米多高处下落未摔破，而仅在十几厘米高处下落却会摔破呢？”当然，这个问题可以在后面讲过有关内容后再回答。

在讲解“摩擦力”之前，不妨先来活跃一下课堂的气氛。拿来一支玻璃棒，选一名男生与一名女生上讲台，让他们各持玻璃棒一端来比赛，看谁把棒拉过去。第一次交锋结果很可能是男生取得“胜利”。接着进行第二次表演，把男生手持的那端玻璃棒擦上一层机油。第二次再赛的结果，毫无疑问将是女生获“胜”。讲解滑动摩擦力公式 $f=\mu N$ 时，可以说明：第一次二人滑动摩擦系数基本相同

时，男生手持玻璃棒的正压力 N 大，故摩擦力 f 大，因而男生取胜。第二次二人各自的正压力不变，虽然男生还略大一点，但男生手持端涂了油之后，使得滑动摩擦系数 μ 大为减小。所以第二次女生这一边的摩擦力相对要大一些，故女生获胜。

二、形成概念，寻找规律的演示

教学目的：提供感性材料，形成概念，导出规律。

教学要点：实验条件明确，观察对象突出演示层次分明。

例如在介绍“浸润与不浸润”的概念时，准备好水银、清水、玻璃片、干抹布。用抹布把玻璃片擦干净，然后先把玻璃片插入水银中取出来，仔细看看玻璃片，上面未沾有水银。再把玻璃片插入水中取出来，看看玻璃片，上面已沾有水。

说明：　前者——不浸润现象

　　　　后者——浸润现象

这里，实验条件很明确，观察对象是玻璃片，观察的层次是先插入水银，后插入清水。(如果要先插入清水也可以，但一定要在插入水银前将玻璃片擦干)。

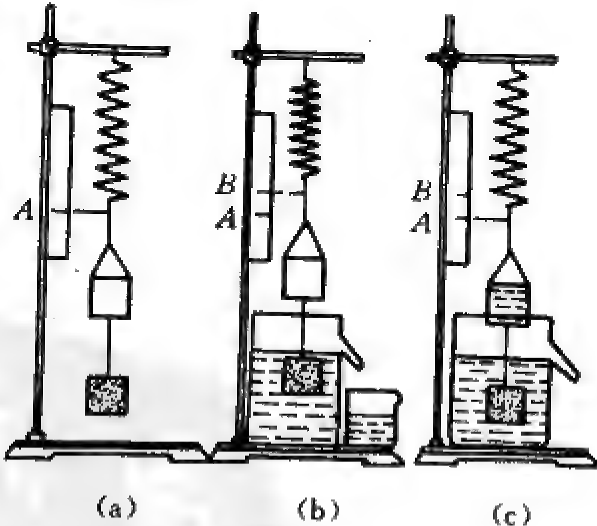


图 2-4

阿基米德定律演示实验，也是这种类型演示实验的典范。如图 2-4 所示。实验条件是利用弹簧秤来测定物体浸入液体后所受浮

力大小。观察对象是弹簧秤读数在不同情况下的变化。演示层次是：

(1)先在空气中称出悬挂重物的重量；

(2)把重物浸入液体中(此前装满水，直至刚好要溢出时为止)，将溢出的水用小桶接住；

(3)称小桶及水的重量，再倒出水，擦干桶，称空桶的重量(前面水与桶的总重量减去桶的总重量，即是溢出水的重量)。

这一类演示实验的演示层次一定要分明。尽管我们演示实验教学可以有多种方法，还可以改变实验步骤的先后顺序。但是根据学生的思维特点、根据实验现象揭示过程的物理规律，都必须条理清晰、道理明白。毫无疑问，手忙脚乱的演示，颠三倒四的现象与过程，要想让学生形成牢固的概念是绝对不可能的。

这一类演示实验在中学物理实验教学中所占比例最大。

三、深化巩固所学知识的演示实验

教学目的：加深理解、强化记忆。

教学要点：部分变换实验条件，以利于拓宽和深一层次的研究。

随着知识的深化，有时我们部分改变实验条件，使学生所学的知识更加巩固。

例如在初中物理教学中，讲解了“生活用电”许多内容之后，演示“跨步电压”，参看图 2-5。

图中人体用硬纸板剪好，让臂和腿关节可活动，用金属导线串上氖泡与手脚端相连。将一张废报纸全部浸入水中淹湿，然后铺在桌上，如图用两根导线与感应圈相连。当人体两脚并拢立在报纸上，氖泡并不发光，说明两脚间并无电压存在。但是移开两脚，使人体跨步时，人体上的氖泡发光，说明两脚之间存在跨步电压。

这种形象的演示实验可使学生印象深刻，牢记不忘。

在高中物理教学中，讲解“简谐振动”这一章时，在建立了简谐

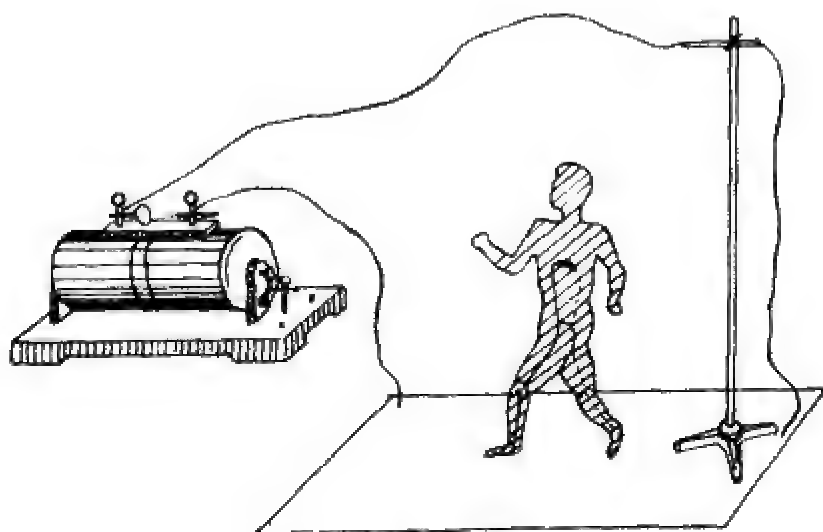


图 2-5

振动的基本概念之后，再深化所学知识，说明“做简谐振动的物体，其运动情况，可以用图象直观地表示出来”。这里可以用一个演示实验来形象地说明：把一盛砂漏斗作单摆，单摆下放一薄木板，木板中央画上一直线作横坐标。当单摆摆动时，匀速拖动木板，漏砂将在木板上留下一条曲线，这曲线即是漏斗的简谐振动图象。

阿基米德定律不仅适用于液体，也适用于气体，不妨做一只热气球来进行演示说明。

诸如此类的演示实验还有：演示“桶裂”实验，说明“液体对容器底部与侧壁产生的压力远大于液体自身的重量”；演示“浮沉子”实验，巩固“物体的浮沉条件”等等。

四、应用物理知识的演示

教学目的：运用所学知识解释物理现象，举一反三，培养学生“学以致用”的能力。

教学要点：讲述基本原理求简明，演示现象求效果。

这一类演示实验也很多，例如本书后面介绍的教具制作部分。在讲解静电的应用时，可以演示“静电除尘”，“静电植绒”，还可以演示“静电复印”。

§2.5　演示实验教学对教师的要求

演示实验教学，是保证物理课堂教学质量的重要环节，中学物理教学大纲中明确规定了要做200多个演示实验。

如果每个物理教师要把自己的教学水平提高，很重要的一点是提高演示实验教学水平。演示实验教学不同于课堂理论教学，它主要是用无言的动作代替了语言，用操作演示来进行物理学教育。

怎样才能提高演示实验教学水平呢？除了教学经验与教学方法，重要的是每个物理教师应该明白演示实验教学必须做到哪几点。由于演示教学的特点，它一般要求物理教师做到以下四点：

一、备课要仔细

在演示实验的备课过程中，主要考虑从两方面备课。

首先，要认真钻研教学大纲和教材，明确每一个演示实验所要达到的目的和具体要求。进而要围绕教学目的、要求处理好演示实验与讲课之间的关系，保证演示实验能适合学生的接受能力。

其次，要做好演示实验前的一切准备工作。准备工作包括：

1. 选择仪器装置，熟悉其构造、原理、性能，熟练实验操作技术，做好预演工作。

2. 了解掌握实验的准确程度，找出产生误差的主要原因和减少误差的方法。

3. 估计好实验演示所用的时间，尽量保证演示、讲述全部在一节课内完成。

4. 要考虑到演示实验演示环境的影响。例如：该实验要用交流电，教室内有无电源插座；该实验要用水，教室没有水龙头就必须先备好水；如果教室透风、太亮，不宜用蜡烛来做透镜成像规律的实验。

5. 要充分估计到课堂上演示时可能出现的故障，考虑好应急措施。

二、指导要明确

每次演示之前，应让学生明确此实验所要达到的目的与要求，指导学生认真观察。

使用略为复杂的仪器，若是第一次与学生见面，应讲解实验仪器的大体结构，各部件的配置和它们的作用。

演示实验要使用的方法和实验原理也应作简单介绍(除非利用该实验观察产生令人意外的结果)，在让学生看懂该实验的全部过程。

观察要点必须在演示前告诉学生，指导学生认真观察实验的初始状态、发展过程、最后结果。

三、演示力求明显直观

实验演示是给学生看的，必须让每个学生看清楚弄明白。因此要求演示实验明显直观。

明显，是指演示仪器足够大，演示的现象显而易见。定性的实验要使物理变化过程显著，定量的实验最好将需要测量的对象放大，不仅要保证前几排同学看清楚，还要尽量使后排的学生也看得清楚。

有时为了追求实验演示现象明显，不得不降低实验精密程度，而用学生感受到的效果来补偿。

所谓直观，即演示实验中要使学生能直接观察到物理过程，不必要转弯抹角，增大学生理解的难度。例如：演示液体沸点与压强的关系时，通常有抽气法和冷凝法两种演示方法，前种方法的演示效果优于后者。这是因为抽气使压强减小十分明显，但在解释冷凝法时必须指明温度变化的影响。

四、操作要规范

教师在讲台上的一举一动要受到学生的瞩目，特别是在实验演示的时候。教师在演示操作过程中，如果动作不规范，就会人为地降低演示实验的教学效果，或者增加学生对演示实验理解的障碍。

就我们目前了解的中学物理演示实验教学情况发现，不少教师认为按照教材中的教学目的得到教学结果就行了，至于操作中的规范问题并不重要。例如，用手接触镜面来拿镜片；不用镊子拿砝码而用手去拿；做摩擦起电实验时，用手掌握住橡胶棒，而不是用手指等等。实验操作是否规范实际体现了物理教师的教学素质。教师应该在实验中有意识地加强自我训练，养成规范化的好习惯。

§2.6 掌握学生在实验中的心理

教学中以学生为主体，围绕学生制定教案，研究学生在物理学习中的心理特点与规律已成为一个重要课题。

笔者曾经接触一位中学物理教师，他多年带高中毕业班，是中学物理教学中的把关教师，偶然有一次带初中毕业班，突然发现原来的教学方法、教学思想无法适应初中物理教学，显然不是这位教师的知识面不够，而是他对初中学生的学习心理特点与规律掌握不够。

针对中学物理实验教学特点，应该怎样充分掌握学生学习物理的生理与心理特点呢？

应该从下面几个方面着手。

一、注意保持学生兴趣持久

中学生正处于身心发展的阶段，他们具有强烈的好奇心和求

知欲，对于所见所闻充满了无数个“为什么”。他们把探索的触角不停地伸向各个知识领域，寻找着最感兴趣的方向。每次演示实验课之前，学生只要一看见教师拿着演示仪器走向教室，顿时就会欢呼雀跃，奔走相告：“今天又要做实验了！”

怎样使学生对物理科学知识的兴趣保持持久和稳定呢？

要想保持学生对实验教学的兴趣，首先一定要力求演示实验操作成功。不难想象，教师在实验演示的过程中，学生兴趣处于高峰时期，接二连三的失败会令学生大失所望，兴趣骤减。

热爱是最好的教师。

我们发现，在上演示实验课时，绝大多数同学非常感兴趣，还有一部分同学很想自己也动动手，或者踊跃地上前帮教师担任助手。当同学们一走进实验室，他们显得格外兴奋，这里摸，那里瞧。这正说明了学生想看（观察）、想听、想动手的热爱心理。教师要格外注意保护学生这种心理现象，能开的演示实验要尽量开，手头缺少仪器要尽量想办法自行解决。在实验课需要学生助手时，最好让学生轮换上来帮忙。

学生们好奇心重，凡是拿到教室里来的仪器都想摸一摸、动一动。这时教师不要因为爱护仪器而大声呵斥学生，以免学生自尊心受到伤害，因此对该学科学习的兴趣下降。

二、指导学生有意注意

有意注意是一种有自觉目的，需要作一定意志努力的注意。

成功的实验教学可以促使学生对物理知识的兴趣增加，但是学生不能单凭兴趣学习，还要注意引导他们锻炼自己，要求他们以有意注意来对待物理科学知识。

在演示实验过程中，教师提出一些难度不大的问题让学生来解决，可以训练学生去有意注意。例如在讲解牛顿第一定律时，某教师在实验过程中提出了三个问题：

（1）实验之前，教师提问：“小车从相同斜面上同一高度自由向

下运动，平面上分别铺盖毛巾、棉布、木板，在哪种情况下，小车在水平面上运动距离最远？”

(2)当实验做完之后，教师又提问：“刚才的实验中，为什么当平台上放的是木板时，小车运动距离最远？”

(3)学生回答了第二个问题时，教师接着问第三个问题：“倘若平面上铺放的东西越光滑小车将会在平面上做什么样的运动？”经过一番思考，有些学生就基本阐述了牛顿第一定律的思想。这个例子说明教师完全可以指导学生有意注意，培养学生观察能力。

三、启发学生逻辑思维

物理科学知识有独自的自然规律，要求学生掌握这门科学知识，必须启发学生的逻辑思维能力。

在演示实验教学中，把学生观察到的物理现象，通过分析、推理，得出必然的结论，就是启发学生掌握逻辑思维方法的过程。例如讲解楞次定律时，将磁铁插入闭合线圈和从闭合线圈内抽出时，闭合线圈线路中连接的电流指针偏转，经教师指导学生经过仔细观察后，用下列逻辑推理方式得出楞次定律：

$$\phi\text{的变化}\begin{cases}\Delta\phi\uparrow\Rightarrow B_{\text{感}}\text{与}B_{\text{原}}\text{反向}\Rightarrow B_{\text{感}}\text{阻碍}\Delta\phi\uparrow\\ \Delta\phi\downarrow\Rightarrow B_{\text{感}}\text{与}B_{\text{原}}\text{同向}\Rightarrow B_{\text{感}}\text{阻碍}\Delta\phi\downarrow\end{cases}$$

结论：感生电流的磁场总是要阻碍引起感生电流的磁通量的变化。

培养学生逻辑思维能力是非常重要的，对于高中物理实验教学，尤为如此。

四、注意克服学生对实验的心理障碍

学生对实验教学虽然兴趣浓，但在学习过程中同样也存在某些心理障碍。主要心理障碍表现在：

1. 对实验的恐惧心理

有不少同学很喜欢看老师演示实验，但要自己动手时又显得

十分害怕。他们怕触电，凡是与电打交道的实验就不敢动。有时即使是低电压的直流电路实验，也缩手缩脚。他们怕用水银做实验，似乎一接触水银就会水银中毒。

克服学生这种恐惧心理的关键，在于教师介绍有关的操作知识，进行规范的操作演示。当学生表现出恐惧时，教师应和颜悦色地进行示范，再让学生自己动手。

2. 对实验的轻视心理

有的同学认为中考、高考都是卷面考试，因此，实验并不重要。其表现形式是实验时学生注意力不够集中，动手做实验也很不认真，自己很少动手，或者不动手而将别人的实验报告抄一份就算了。对于这样的同学，除了帮助他们认识到物理是一门实验科学外，还应该用生动有趣的实验吸引其注意力。

3. 对实验的畏难情绪

不少学生常感到物理难学，物理实验也难做。做实验时，有些同学面对一大堆实验器材，不知道如何配合使用；电压表、电流表、导线、开关等电学器材摆在面前却不知怎样按照电路将其连接起来；实验做完后，大堆实验数据不知怎样处理……

要使学生克服畏难情绪是一项艰巨而复杂的工作。学生产生对实验畏难情绪的因素很多：学生的物理知识基础较差；学生动手能力较差；教师的许多演示实验未让大家看清楚、弄明白；在学生实验时，教师指导不力；学生对实验结果处理未掌握方法等等。总之，教师在教学中要花气力、下功夫、找方法。只要经过老师的辛勤努力，一定可以使学生克服这些心理障碍，热爱物理科学。

第三章　初中物理实验教学技能训练

本章提供了八组专题训练。这八组专题训练主要是针对初中物理重要的演示实验，有难度的演示实验与部分学生分组实验提出的实验教学技能训练。在某些专题训练中，必要地介绍了演示实验仪器和选择适当的自制教具进行实验教学。

§3.1　训练一　研究物态变化的演示实验

【实验目的】

1. 研究物质熔化实验的几种演示方法。
2. 研究使气体液化的两种现象的演示：
(1)压缩体积；
(2)降低温度。
3. 研究碘的升华与凝华的演示操作。

【实验器材】

烧杯(2500ml)、试管(φ25mm)两支温度计(0～100℃)一支、海波(15g)、松香(15g)、酒精灯、石棉网、物理支架、试管夹、大医用注射器一支、橡皮帽一只、乙醚若干、金属板一块、直角玻璃管一支、大烧瓶一个、碘片(或颗粒状碘)。

【实验内容】

一、物质熔化的演示实验

用海波与松香各做一次熔化实验，做好实验记录。

实验装置如图 3-1 所示。

传统的晶体熔解和凝固演示实验是用萘做的。由于这个实验不仅导出重要的物理概念，而且还可以培养学生初步的实验能力、初步的数据处理能力。因此传统教材既安排了学生的演示实验又安排了学生分组实验。现行教材中仅安排海波的熔化实验，不再选用萘来做晶体熔化和凝固实验。这里的原因是海波与萘的熔化曲线相似，而海波熔点低，比较容易加热。由于不再做晶体的凝固实验，这样就可以避开海波在凝固过程中出现的过冷现象，以免学生难于理解。这个演示实验去掉了晶体的凝固过程，如果由教师指导两组学生同时做海波、松香熔化实验，可能缩短课堂演示的时间，大大提高该实验的成功率。

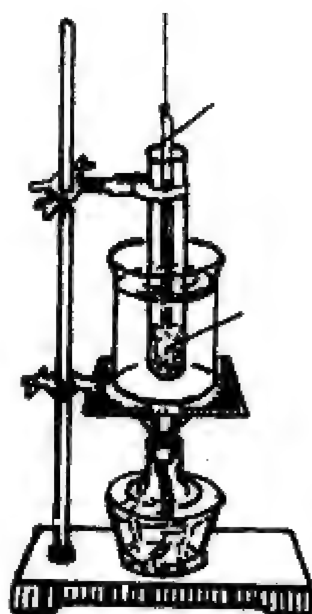


图 3-1

为了保证该演示实验的成功，必须注意以下几点：

(1)加热不要太快。调节酒精灯焰至石棉网的距离，最好使水温每分钟内升高保持在 0.5～1.5℃ 之间。如果水温上升太快，将无法得到海波固液共存时温度不变的熔化现象。

(2)实验中要随时搅拌。海波与松香的导热性差，试管外壁与内部中心有温差，搅拌可以改变其受热不匀状况。

(3)为了缩短演示时间，用海波做实验前，先将烧杯中的温水温度调配成 50℃ 左右。用松香做实验前，先将水温调配至 60℃ 左右。

(4)整个演示实验的时间应控制在 10～12 分钟。

实验过程如下(以海波为例)：

(1)将海波加入到试管内，用试管夹固定，试管插入 200ml 温水中(水温约 50℃)，使水面略高于海波的上表面。

(2)温度计吊着插入到试管中的海波内，注意温度计的水银泡

不可接触试管底部。

(3)点燃酒精灯，调节酒精灯火焰至石棉网的距离，保证加热不要太快。从现在开始不断搅拌。

(4)当海波温度上升至 45℃ 左右时开始记录，每隔半分钟或 1 分钟记录一次温度。

(5)当海波全部熔化完毕之后两分钟，才停止记录。

※用松香(粉末状)代替上述过程的海波，另做一遍。直至松香全部成为液态。

(6)在坐标纸上作海波与松香"温度—时间图象"各一张。

二、乙醚液化的演示实验

1. 压缩体积使气体液化

用一支活塞与筒壁接触较好带有注射针头的玻璃注射器，抽动活塞吸入乙醚少许(约 2～5ml)，取下针头，套上橡皮帽，使乙醚被封闭在注射筒内。抽动活塞，可以透过玻璃发现液态乙醚消失，乙醚成为气体；松开活塞并压缩活塞，发现液态乙醚又出现了。这样反复几次。

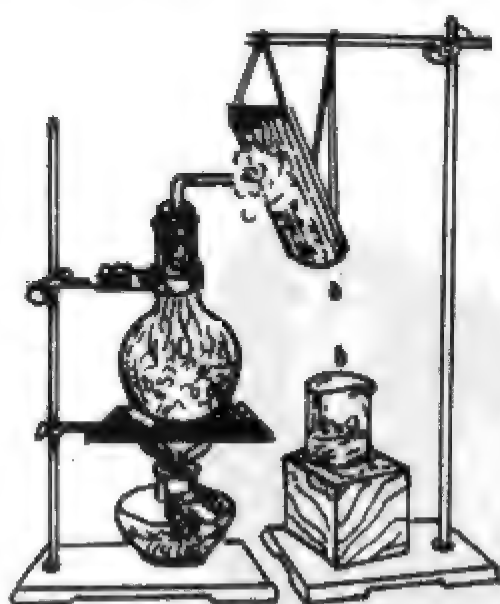


图 3-2

由于注射筒内气体基本上被封闭，所以抽动活塞时略微要使一点力，握住针筒的手不可太松，以免注射器脱手。

2. 气体温度降低而液化

如图 3-2，把仪器装置好。为节省时间，把开水倒入烧瓶内，然后盖上瓶塞，用酒精灯给烧瓶加热。水沸腾时，水蒸气不断由直角玻

璃管喷向金属板。几分钟后，一部分水蒸气遇冷凝结成水，开始顺着板面流入下面的烧杯。

当烧杯内接有少量水后，停止加热。用手接触滴入烧杯内的水滴，发现水并不烫手，这说明气体液化时温度降低。再用手摸一摸金属板，金属板却较热，说明水蒸气喷射到金属板后放出了热量。

这个实验中，金属板不要太薄，金属板太薄散热效果差。如果用铁皮做这个实验，可以将铁皮做成容器状，里面装少量冷水。

三、碘的升华与凝华

1. 将几粒固态碘放入烧瓶内，盖上瓶塞。

2. 用酒精灯给烧瓶均匀地加热，不一会，紫黑色的碘晶体直接升华成紫红色的碘蒸气（在日光灯下可以看得很清楚）。

3. 停止加热，等到瓶内气体变冷时，碘又由气态凝华变成固态，紫色逐渐消失。这时会看到许多小晶粒附着在瓶壁，使玻璃的透明度减低。

4. 重复以上步骤，碘的升华与凝华现象可以反复出现。

做此实验时必须注意三点：

(1)使用的烧瓶应该先烘干。

(2)为了加快凝华速度，只能在烧瓶已经稍冷时向瓶外淋冷水，而刚加热完毕即淋冷水容易使烧瓶破裂。

(3)碘蒸气有毒，切莫吸入。

为了使这个实验反复呈现，可用安瓿瓶密封一点碘片来做。具体做法是：选用打针废弃后的安瓿（5～10ml）一只，洗净，烘干后放进一粒碘片。用酒精灯均匀加热管口的玻璃，直至烧软，同时将一根长玻璃棒的头部烧熔，使棒上的玻璃溶液滴在安瓿瓶口上，直至管中封闭（封口时应让管口倾斜朝上，将瓶内空气驱赶出去）。演示时，将此管用镊子夹着在酒精灯上略微加热，无色透明的安瓿瓶很快变成紫红色。安瓿瓶温度降低时，瓶壁又凝结成粉末状的固体微粒。参看图 3-3。



图 3-3

【参考资料】

海波的熔化实验装置如前所述，记录数据如表 3-1。

表 3-1　海波熔化过程记录

时间(min)	0	1	2	3	4	5
温度(℃)	45.0	45.5	46.0	46.4	47.1	47.6
时间(min)	6	7	8	9	10	11
温度(℃)	47.8	47.8	47.9	48.2	51.3	53.0

海波熔化过程如图 3-4 所示。

作为晶体熔解示例，萘熔化过程记录如表 3-2，其图象如图 3-5 所示。

表 3-2　萘熔化过程记录

时间(min)	0	1	2	3	4	5
温度(℃)	76.1	77.0	78.0	79.0	79.0	79.0
时间(min)	6	7	8	9	10	
温度(℃)	79.0	79.2	79.4	82.0	83.3	

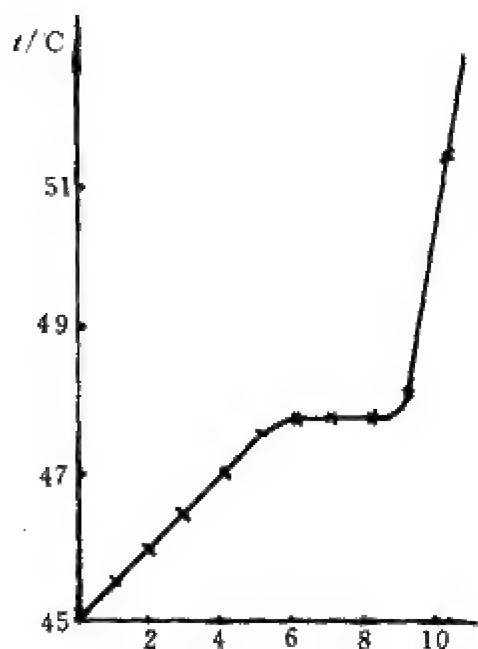


图 3-4

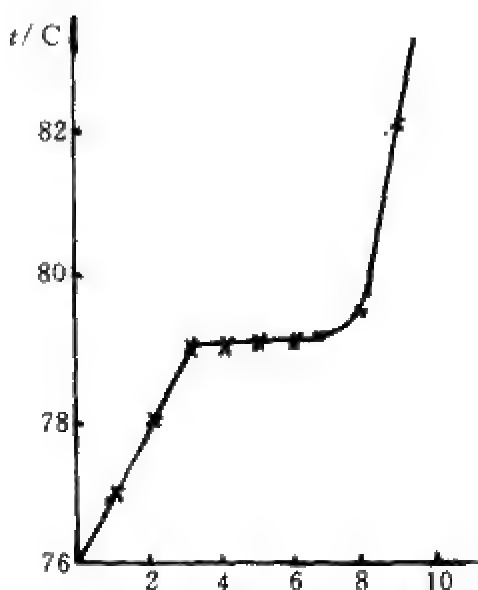


图 3-5

【思考题】

1. 如果用注射器做压缩乙醚体积使其液化实验时，注射器的活塞与筒壁接触不好。针筒端盖上橡皮帽后，筒内与筒外不密封，漏气现象严重，这样对此实验影响大不大？为什么？

2. 做气体温度降低而液化的实验，烧瓶内水沸腾时，从玻璃管口喷出水蒸气，同时出现薄薄的细雾。这细雾是不是水蒸气？如果学生提出这个问题，应怎样回答？

§3.2 训练二 研究平面镜成像、光的折射的演示实验

【训练目的】

1. 练习演示平面镜成像的实验，探讨平面镜成像实验教学方法。

2. 掌握光具盘的使用方法。

3. 练习多种光的折射的演示操作。

【实验器材】

平板玻璃一块、两根相同的蜡烛、木板一块(约 60×15×4cm)、橡皮泥少许、直尺、大头针、白纸、玻璃水槽、光源(平行光源或激光光源)、平面镜、光具盘(J1201 型)、物理支架、画有直线的薄木板一块、夹子两个。

【仪器简介】

1. 玻璃水槽

实验室的圆形玻璃水槽可以用来做这个实验。如果用 3mm 厚的薄玻璃自制一个长 25cm、宽 8cm、高 20cm 的玻璃水槽更好。具体的粘接工艺参看第五章有关内容。

2. 光具盘(J2501 型)

光具盘的外型如图 3-6 所示。

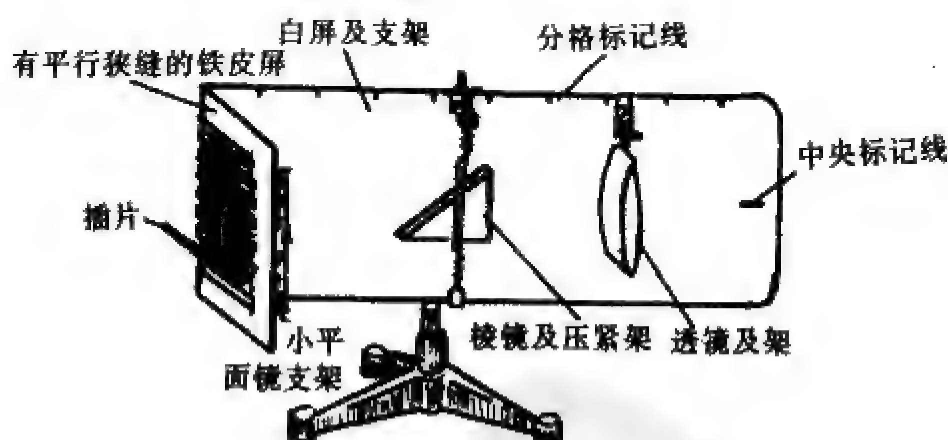


图 3-6

这种光具盘可以演示光的反射、折射、全反射,凹凸镜的光学性质,透镜的光学性质及成像等几何光学实验。

方盘是用螺丝固定在支架立柱的上端,松动固定螺丝可使盘上下升降和倾斜一定角度。盘左端装有一块光栏如图 3-7 所示,上有七条平行的缝隙(缝距为 14mm,缝宽为 1.8mm),并附有遮光片和六孔镜架,专供安装反射镜使用。

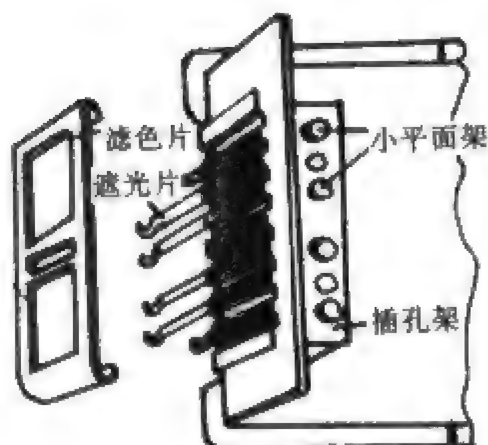


图 3-7

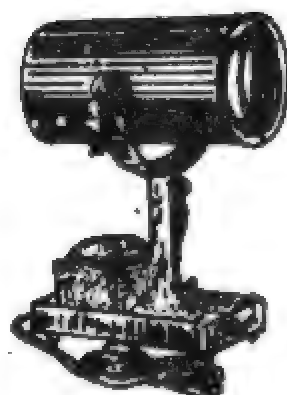


图 3-8

圆形光盘上有两条相互垂直的直径线，把圆盘分为四个象限，上面标有角度读数。圆盘上边有两颗紧固螺丝，供实验时固定光学元件使用。圆盘背面有挂臂可以使得圆盘在方屏上左右滑动。

每个光具盘附有一个平行光源，它是在金属圆筒的前端装有一个双凸透镜，后端装一圆形灯座和“12V、50W”灯泡。灯泡可以进退和转动。整个圆筒用一个“U”形支架和伸缩杆插在铸铁三足架上，能上、下升降和倾斜一定的角度。如图 3-8 所示。

实验时，将平行光源的前端置于矩形光盘左端光栏左侧 100mm 左右处，在盘上就显示出五条平行光带。如果要得到与主轴倾斜的光带，可插入固定在圆柱形胶木上的条形小平面镜。适当调整小平面镜的角度，就可改变光带的倾斜度。如果光带先经过靠边的平面镜反射，再经过靠中线的平面镜反射时，则倾角较小。相反则倾角较大。

使用透镜或面镜时，必须使中间的一条光带和它们的主轴重合。若不合适，应将光源作适当调整。

要区别主轴和两侧的光带时，可加上红、蓝玻璃滤色片，使主轴光带是白色的，两侧光带为红、蓝色。

【实验内容】

一、平面镜成像的演示

平面镜成像是几何光学中的一个重要实验，由演示实验导出平面镜成像规律是实验教学成败的关键。

通常研究平面镜成像，使用烛像法与插针法，前者易用于课堂教学，后者常用于学生课外实验。

1. 烛像法研究平面镜成像

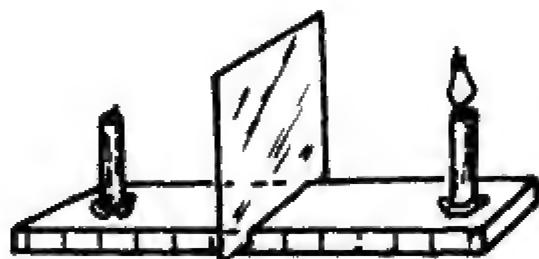


图 3-9

(1)如图 3-9 所示，先在木板中央开一个窄槽，将平板玻璃垂直地卡在木板中央，木板的侧面从中央向两边画有等距离的刻线。然后使平板玻璃正对着全班同学，在玻璃后面放没有点燃的蜡烛甲，前面放点燃的蜡烛乙。移动没有点燃的蜡烛的位置，直到从玻璃前边的各处看到玻璃后边的蜡烛似乎也点燃为止。

(2)将木板转过 90°，让同学看到蜡烛甲并没有点燃，说明刚才看到蜡烛甲好像点燃的情形，实际上是点燃的蜡烛乙在平板玻璃里所成的虚像。且虚像是正立的，与物体大小相等，虚像的位置与蜡烛甲完全重合。

(3)观察蜡烛乙(物)和蜡烛甲(像)的位置，可以看到物和像的连线跟玻璃(镜面)垂直，借助于木板侧面的刻线，可得到物和像到镜面的距离相等。

为了使这个实验演示成功，需要注意以下几点：

①为了使全班同学在各自座位上都能看到平板玻璃里的虚像，平板玻璃的高度要比蜡烛高一些，宽度要足够大。

②选用的玻璃板一定要尽量薄。因为玻璃厚了，会明显的看到由玻璃前后表面反射所成的两个虚像。

③平板玻璃要垂直卡在厚木板的中央，玻璃如果倾斜或晃动，会改变虚像的位置，影响实验效果。此外，蜡烛也应垂直于板面放置。

④实验时，玻璃后面的背景应暗一些。

⑤蜡烛乙燃烧一段时间后，高度明显下降时，应将蜡烛甲也切去一部分，尽可能使甲乙蜡烛等高。

2. 插针法

这个实验可以让学生作为家庭作业在家里完成。既可以让学生温习当天在课堂上所学的物理内容，又可以有较多的时间进行研究，培养学生手脑并用的能力。

(1)先用图钉将白纸固定在平木板上，再将平面镜竖直放置于纸上(当然要用东西固定)。于镜前约 80～100mm 处插一根大头针 S 作为物体，注意调节平面镜和大头针，使它们垂直于木板平面。

(2)如图 3-10 所示，先从镜前某一位置 E_1，观察大头针 S 与在镜中的像 S'，并沿着视线插上 P_1、P_2 两根大头针，要求人 E_1，看去 P_1、P_2、S' 在一直线上。再任意选择另一位置 E 观察 S'，用同样的方法沿着视线插上 P_3、P_4 两根大头针，使 P_3、P_4、S' 在一条直线上。

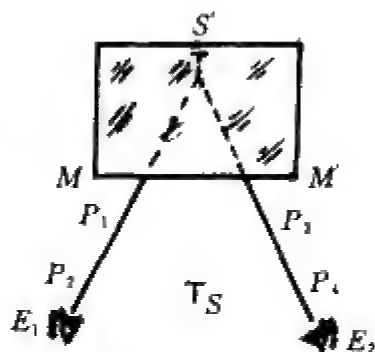


图 3-10

(3)在白纸上记下平面镜位置 MM'。移去平面镜和大头针，过 P_1、P_2 的针孔画一条直线，过 P_3、P_4 的针孔画一条直线，这两条直线在镜后的交点正是 S' 像所在的位置。量到 S、S' 到 MM' 的距离，在误差范围内是相等的。

(4)改变物体大头针 S 的位置，重复上述实验。物体到镜的距离增大或减小时，像到镜的距离也随之增大或减小。这就是平面镜成像的规律。

二、光的折射的演示

光的折射的物理概念是初中物理“光的折射”一章的重点和难点。充分利用实验教学的特点，让学生通过观察来牢固建立物理概念是本章教学的关键。

常用的演示实验主要有两种方法：一种是利用玻璃水槽来演示；一种是利用光具盘来演示。这两种演示实验教学方法各有利弊，我们的教师都应该掌握。

1. 用玻璃水槽演示光的反射

此实验研究光线从空气射入时方向怎样改变。

如图 3-11 所示，先用画有细线的薄木板（板面涂成白色）竖直插入水槽中。为使木板不倾斜，用两副夹子夹住。薄木板在水中应和水槽前壁相距约 2cm 左右。用一个平面镜将光源射来的光反射到细线与水平面的交点处，调整光源和平面镜 M 以及透明水槽的相对位置，在光屏（薄木板）上能清晰地看到入射光线、折射光线、法线（细线）在同一平面上，入射交线和折射光线分居于法线的两侧，且折射角小于入射角，改变入射角，再做一次。

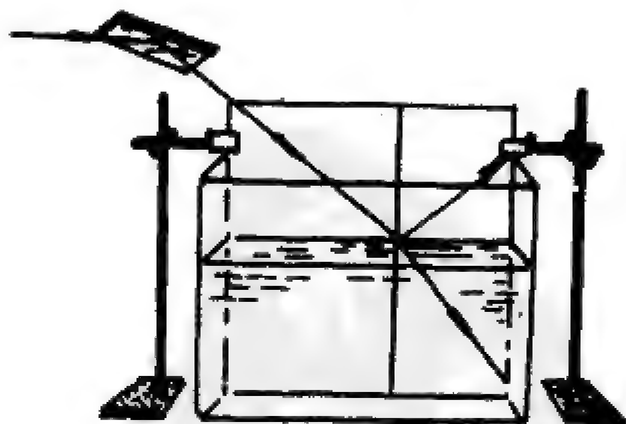


图 3-11

改变平面镜的位置，使入射光线沿细线垂直入射水中，观察折射光线与入射光线的关系。

教材中的讨论至此，未再讨论光线从水中射入空气中的折射现象。如果需要拓宽时，仍使用这套装置能演示光线从水中射入空气中的折射现象。

如图 3-12 所示，将平面镜置于下方，使光源射来的反射光线从水下射入到细线与水平面交点处可以观察到此时折射角大于入射角。

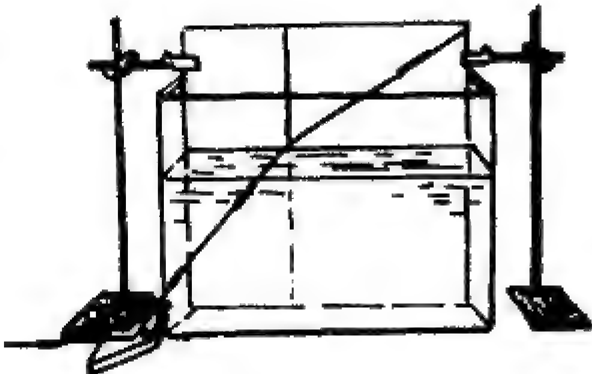


图 3-12

2. 用光具盘演示光的折射

这个实验用来讨论光线从空气中以某一角度射向玻璃时的折射现象。

将半圆柱透镜固定在圆形光盘上，使其直边与光盘上“90 度～90 度”的刻线重合，圆心与光盘圆心重合。

将光栏只打开中央一条狭缝，让光源发出的光只有一束射向圆心。当光盘转到某一角度时，呈现出光从空气进入玻璃在界面上发生的折射现象。如图 3-13 所示可以看出折射光线在入射光线、

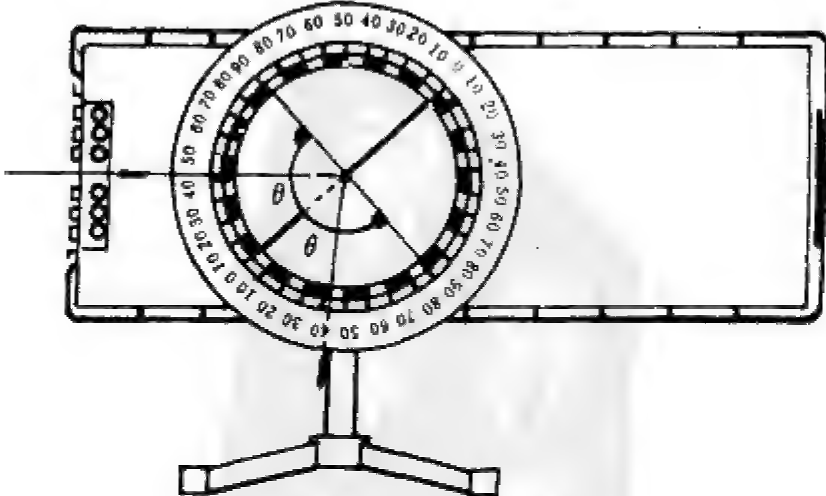


图 3-13

法线(细线)所决定的平面内折射光线与入射光线分居于法线的两侧,且折射角小于入射角。

转动圆盘改变入射角,再做一次。

改变入射角,使光线垂直于直边(入射角为零度)入射,观察折射光线与入射光线的关系。

另外,还可以研究一下光线从玻璃射入空气中的折射现象。

如图 3-14 所示,转动圆盘,保证光线沿半径方向射向圆心(必须保证沿半径方向!)。可以看到此时折射角大于入射角。

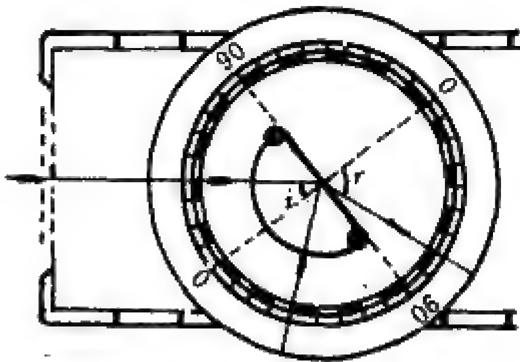


图 3-14


图 3-15

【参考资料】

用一个经过制作后的扁形墨水瓶可以演示光线从空气射入水中折射现象。

选一个扁形透明的玻璃墨水瓶(其它扁形透明且大一点的瓶子也可以)在外壁上一边糊黑纸,一边糊白纸。黑纸厚且不透光,白纸(打印蜡纸中垫衬的白纸最好)要透光。在糊好的黑纸上中央竖直划一条宽约 2mm 的狭缝。如图 3-15 所示。

演示时,用平行光斜向射在空瓶黑纸的狭缝上,在白纸屏上可以看到一条竖直的亮条,然后逐渐向瓶内倒水,当水没过狭缝一部分时,在白纸屏上就看到原来竖直的亮条下半段错开了。水面上的一段亮条是光线经过水折射后到白屏上的。这就说明光线从空气中进入水中改变了方向,从而产生折射现象。

如果改变入射光线的角度,可以看到入射角增大时,水面上下

两段亮条错开得远些。

必须说明，这个实验装置不适合于讨论入射角与折射角的关系。

§3.3 训练三 简单的运动、力和运动的实验研究

【训练目的】

1. 掌握斜槽装置与节拍器的使用方法。

2. 掌握几种演示操作的技巧。

【实验器材】

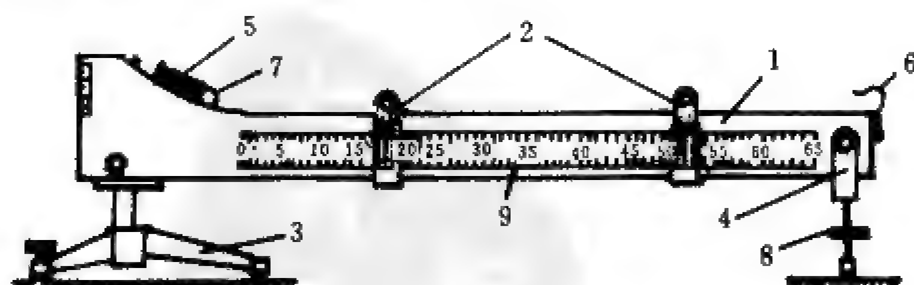
1. 斜槽轨道(J2127 型)、斜面小车(J2108)型、机械节拍器、小球、宽约 10cm 长 30cm 刨木板一块、宽约 10cm 长约 60cm 的刨光木板一块、毛巾一条、棉布一块。

【仪器简介】

1. 斜槽轨道(J2127 型)

斜槽轨道是为演示直线运动和运动定律而设计的。

斜槽轨道的结构如图 3-16 所示。



1. 轨道 2. 光电门 3. 三脚座 4. 支架 5. 电磁铁
6. 捕捉器 7. 钢球 8. 螺母 9. 标尺

图 3-16

斜槽轨道主要由轨道、光电门、三脚座、支架、电磁铁、捕捉器

(弹簧夹)、标尺、钢球等组成。其支架可以升降,用以调节轨道所需要的倾角。光电门共有两只,每只都是“U”形,其一边安装聚光灯,另一边安装光电二极管。接通电源后,聚光灯的光线通过透光孔照在光电二极管上。当钢球挡住光线时,光电二极管的电阻发生变化,便把光讯号变成电讯号输出到数字计时器。两个光电门一个是“启动门”,另一个是“终止门”。电磁铁的作用是控制小球的释放。

通常在初中物理演示过程中,不使用光电门,而使用节拍计时器。

2. 节拍计时器

常用节拍计时器有机械式和电子式两种。

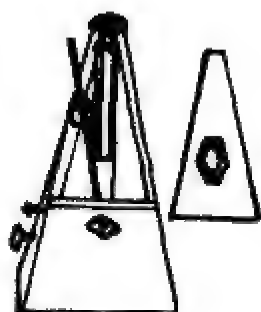


图 3-17

机械式节拍器外形如图 3-17,是利用摆的等时性发出节拍的响声。机械式节拍器是一个正四棱台形木盒。正面有一盖板。取下盖板,即看到里面有一标度尺,左右两列刻有40-208 的标度,用来指示每分钟的节拍数。在标尺前有一个可以绕水平轴摆动的摆杆,摆杆下端有一重物,摆杆的上部有可上下移动的梯形摆锤。摆杆上边刻有标度。移动摆锤在摆杆上的位置,可控制摆的振动周期。例如,摆锤的下边对着标尺的刻度是 120 度,则每分钟摆动 120 次(摆动 1 次为半个周期),也就是摆的周期为 1 秒。摆锤向上周期增大。木盒的下部装有发条和振铃。

使用机械式节拍器之前,先上好发条,然后根据测量要求,调节摆锤的位置。例如,每分钟 n 次节拍(一次全振动两个节拍),再调节拉杆到每摆 R 次铃响一次,则两次铃响之间的间隔为 $t=R/n$ 分钟。

使用机械式节拍器时注意以下两点:

①仪器必须水平放置,不宜太振动。

②摆杆的摆动必须灵活,必要时可在齿轮上加些钟油润滑。

电子节拍器有音响清晰、调节范围宽、使用简便、不怕振动等优点。

电子节拍器的外观面板如图 3-18。右边节拍频率旋钮可选 10 档:20,40,60,…,200,即每分钟的振荡频率。左边另有一个连续可调旋钮,可以从 20 拍/分连续不断地调整到 200 拍/分。

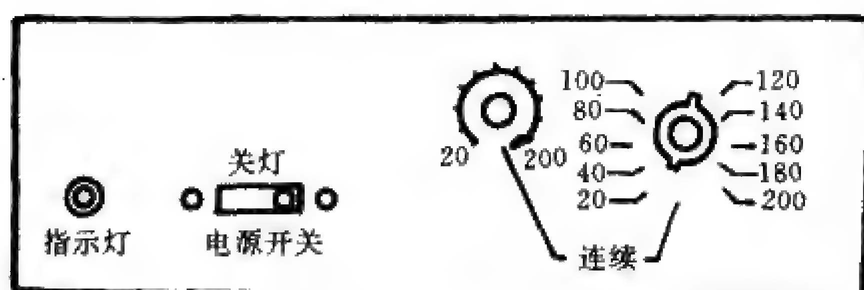


图 3-18

使用时先接通电源,指示灯亮,将右边频率调节旋钮拨到所需的节拍频率刻度上,扬声器即发出有规律的"拍、拍"声。将频率调节旋钮拨向连续档,调节面板左边频率旋钮,可以实现调节,使节拍保持在一个随意确定的频率上。

【实验内容】

一、演示匀速直线运动

1. 用斜槽轨道演示匀速直线运动

考虑到初中学生初涉物理领域,初中物理演示实验的使用仪器应尽可能简便,故这个实验中不宜用光电控制的计时器来计时。因此,大多数情况下,使用机械节拍器或电子节拍器计时。

使用斜槽轨道时,先取下光电门,然后将下列步骤操作。

(1)在直线轨道的水平标尺部分每隔 10cm。用透明胶带贴一面旗作为"路标"。

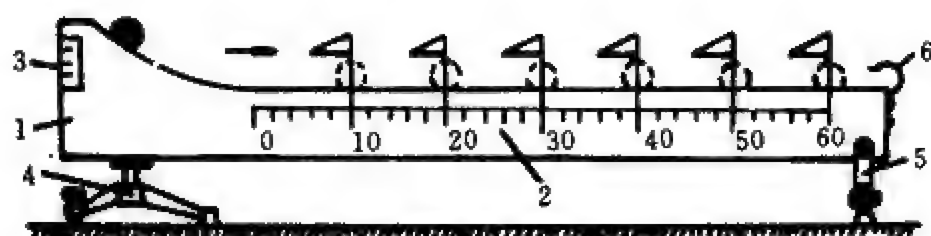
(2)调整直轨道为水平状态(可以用水准仪放在直轨道上进行校正)。

(3)在竖直标尺上选择一个合适的高度 h,为了使钢球经过每

一路标时恰好响一声报时，选择节拍器的频率为 $f_{拍}=\frac{1}{10}\sqrt{2gh}$，节拍数 $n=\frac{1}{20}\sqrt{2gh}$（一次全振动有两个节拍）。

（4）打开节拍器将钢球于选定高度处自由释放。释放时必须在节拍器刚好报时的时候松手！可以看到每次节拍器报时，钢球恰好经过每面彩旗。如图 3-19 所示。这说明钢球在相等的时间内通过的路程相等。钢球在直线轨道上的这种运动，叫匀速直线运动。

（5）重复 n 次上述步骤。



1. 底架　2. 水平标尺　3. 竖直标尺　4. 三足支架
5. 单足支架　6. 弹簧夹

图 3-19

在演示实验操作过程中应该注意几点：

①直轨道必须调整水平。

②选定高度后，应该用东西做标记。一般说来，教师应先在实验室里预演，然后将斜槽坡道上的电磁铁位置固定，经作为标记（电磁铁不通电）。

③选定节拍后不应再劝频率旋钮。

④在刚好节拍器发声时释放钢球，这必须多次练习，训练敏捷的反应。

2. 用斜面小车演示匀速运动

对于没有斜槽轨道的学校，可以用斜面小车来演示匀速直线运动。斜面小车十分简单：仅一块平板（侧面附有际尺）、一个定滑轮、一辆四轮小车砝码盘等。在条件十分差的农村中学，完全可以

用自制教具的方法来完成这个演示实验。

这个实验原理的设计思想是使小车所受的拉力与小车所受的摩擦力平衡，给小车一个初始速度，使其在水平面上作匀速直线运动。

操作步骤如下：

(1)与前一实验一样，在水平标尺部分每隔 10cm 贴一“彩旗”作为路标。

(2)将斜面小车的平板平放在桌面上，小车用细绳系住，细绳另一端跨过定滑轮跟砝码盘相连。如图 3-20 所示。

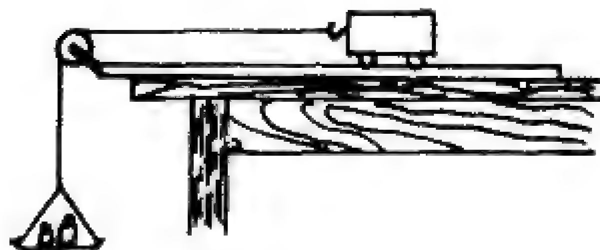


图 3-20

(3)在砝码盘中逐渐添加砝码和细砂，仔细调节对小车的拉力，使得小车能在轻推一下之后恰好能在木板上作匀速直线运动(教师可以在实验室里用电磁打点计时器辅助寻找砝码盘中各物的最佳重量，但必须考虑到纸带与仪器的摩擦)。

(4)调节节拍器的频率，使小车到达每一彩旗位置时，节拍器正好发声。

(5)反复做几次。

实验过程中注意几点：

①平板要尽量放得水平。

②调节定滑轮高度，使得细线与木板平行拉着小车。

③小车运动至桌边时，一定要用手挡住，以免小车摔到地上。

二、演示变速运动

将前面的斜槽轨道三足支架进行调整，使得直轨道不再水平，

而是斜倾某一角度。释放钢球后，钢球通过每两个“路标”时，所用时间并不相同，说明钢球的速度在变化，即钢球做变速运动。

改变砝码盘中砝码或细砂的重量，小车不再做匀速运动，而做变速运动。可以去掉其余“路标”，仅留下起点与终点两块“路标”，让学生练习测量变速运动中的“平均速度”。

演示变速运动的方法很多，可以演示变加速、变减速、时停时走的各种情况。这里不一一赘述。

三、演示牛顿第一定律

由于初中学生在学习这一部分时可能存在错误观点“物体运动需要力的维持”，因此可以分两大步骤来完成这节课的演示实验教学。

1. 演示“物体运动不需要力的维持”

(1)将 60cm 长的木板平放在桌上，小球置于木板的一端，用一小挡板不让学生看到小球。

(2)用手指弹击小球(或者用一木棒敲击小球)，小球被弹出，学生们可以看见小球在平直的木板上滚过，此时并没有力来维持小球的运动。

2. 演示牛顿第一定律

(1)把 30cm 长的木板垫成倾角 30°左右的斜面，60cm 长的木板水平放置，两板紧密相连。在水平木板上铺上毛巾，让小车自斜面顶端从静止开始滑下(也可以用小球代替)。在停止的地方留下标记。

(2)在水平板上换铺棉布，重复步骤 1。

(3)取去水平板上的棉布，重复步骤 1。

如图 3-21 所示实验结果，得出结论：

物体受到的阻力越小，运动的距离越长。如果物体在运动中不受任何力的作用，它的速度保持不变。永远运动下去。

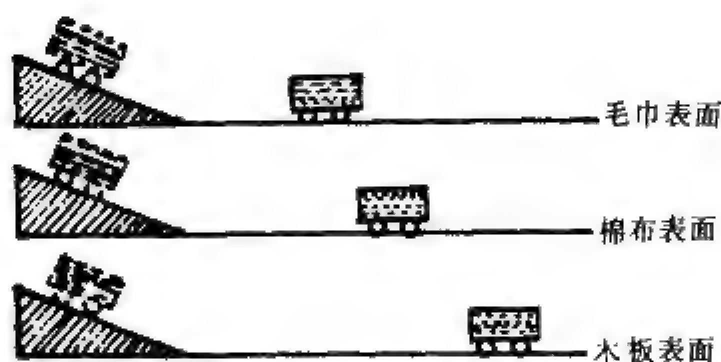


图 3-21

§3.4 训练四 研究大气压强的演示实验

【训练目的】

1. 掌握教学中常见的气压计和几种抽气机的原理和使用方法。

2. 掌握证明空气有质量、大气有压强的验证性演示实验方法。

3. 研究阿基米德定律实验教学。

4. 学习净化和灌装水银的方法。

【实验器材】

平口玻璃杯、薄硬纸片、牛奶瓶、熟鸡蛋、废日光灯管、废 135 胶卷的塑料盒、气球、医用大注射器、马德堡半球、托里拆利演示器、水银气压计、两用气筒、手摇抽气机等。

【仪器简介】

1. 水银式气压计

如图 3-22，水银气压计长约 1m，一端封闭，一端开口。开口的玻璃管注满水银后倒立在水银槽里。水银槽的底部是一个皮囊，皮囊下面有一个螺旋，调节这个螺旋可以使皮囊挺起和下垂，从而调节水银槽内水银的高度。水银槽上面有一个象牙针，它的针尖向下指着水银面。整个装置用一个金属套管罩着，套管在水银槽和玻璃

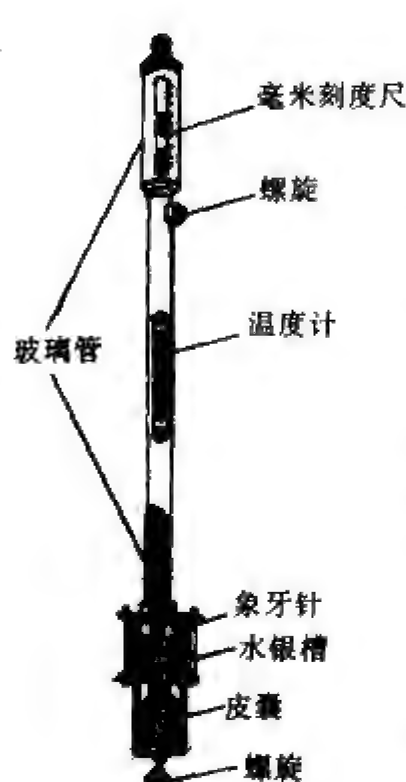


图 3-22

管顶部开有玻璃窗。在水银槽与金属套管之间装有皮垫，它使槽中水银与大气相通而不让水银流出。金属套管在靠近玻璃管顶部处还附有毫米刻度尺，它是以象牙针尖作为零点的。在刻度尺上装有游标，可以由螺旋操纵沿刻度尺移动。游标上有刻度，它是把 18mm 分作 10 等分，因此读数精确到0.2mm，它的原理和测量方法跟游标卡尺相同。在金属管中部有一个温度计。

使用方法如下：

(1)将其竖直悬挂在墙上，先旋开水银面上通气口的螺旋塞。

(2)转动底部调节螺旋，使水银面与象牙针尖刚好接触。

(3)旋动游标螺旋，使游标尺的下沿正好与水银的凹面相切。

(4)旋动气压计，使前后窗口对准底板，从高等院校示和刻度尺上读数，即为当时的大气压值。

2. 无液气压计

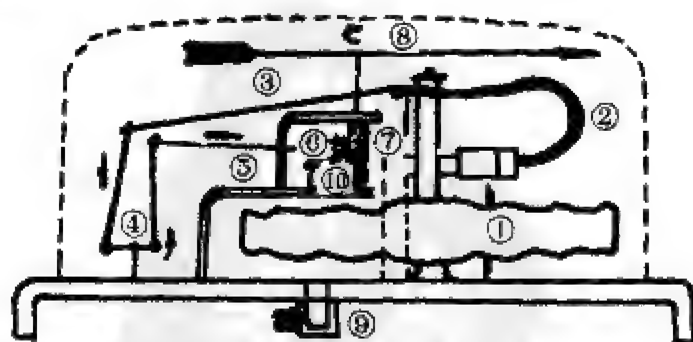


图 3-23

无液气压计内部构造如图 3-23 所示。在电木圆形底座上装有一个薄金属片制成的扁圆盒，抽出盒里空气，盒面压成环形凹凸波

纹，盒中心装有上下两根拉杆，下面的拉杆固定在底座上，上面的拉杆连接一个弹簧片。弹簧片由三个支柱支在底座上，其中两个支柱固定，另一个支柱可由底座下面的螺丝调节，透气孔就在这个支柱下面。弹簧片通过金属杆，杠杆，金属丝和一个扇形齿轮连接。扇形齿轮又和一个柱形齿轮啮合。柱形齿轮轴的下端装有一卷平衡游丝，上端装有一根指针。指针下有一个环形刻度盘，刻度盘上有毫米刻度线，如图 3-24 所示。整个仪器是用一个玻璃罩紧盖着，只有透气孔与大气相通。另有一根橡皮管接到透气孔上。

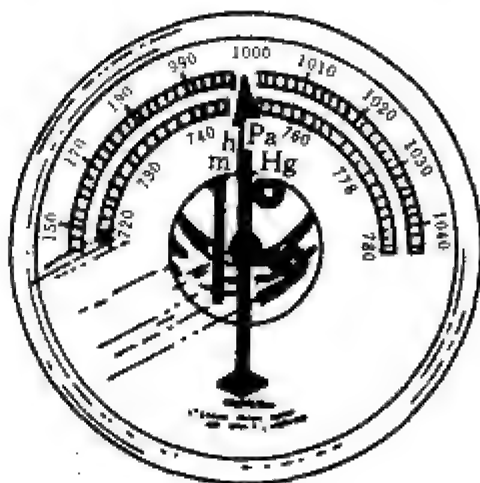
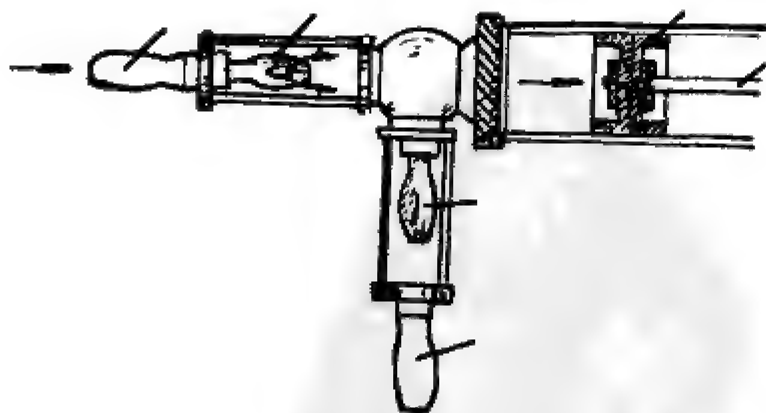


图 3-24

当大气压发生变化的时候，扁圆金属盒的凹凸程度随之发生变化，从而使弹簧片的弯曲程度也发生变化。这个变化经过金属杆，杠杆，金属丝，扇形齿轮，柱形齿轮传送到指针，使指针发生偏转。故从指针在刻度盘上的位置可以读出当时大气压的值。

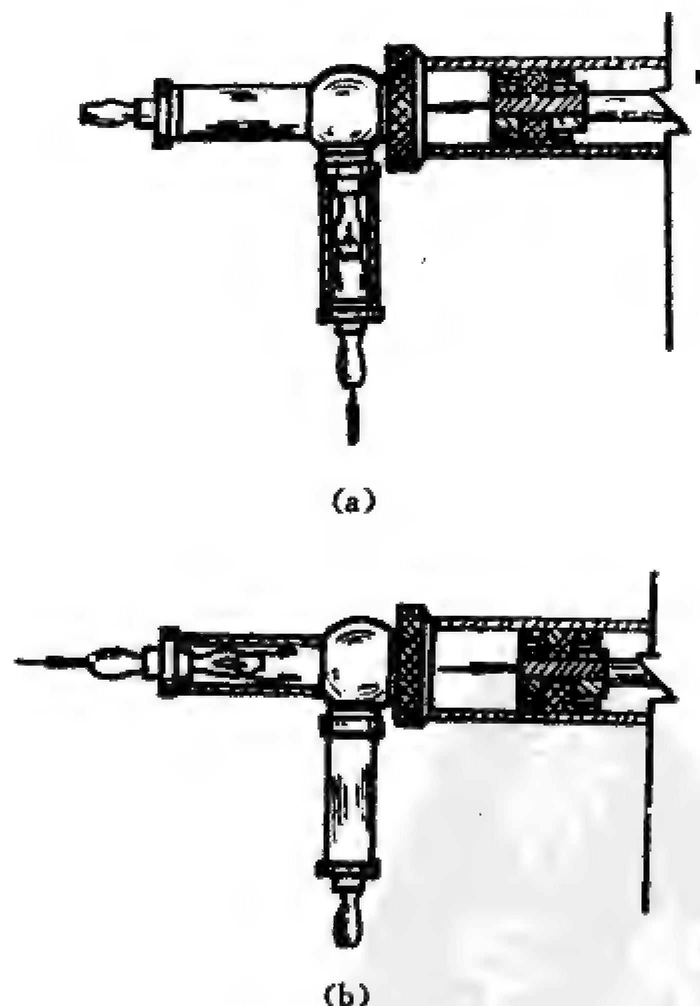

图 3-25

由于这种无液气压计没有温度补偿装置，所以在气温变动时，测出的大气压有较大的误差。

3. 两用气筒

手持两用气筒的构造如图 3-25 所示。

手持两用气筒由四个部分组成：阀，活塞，手柄和圆筒。阀分抽气阀和打气阀。气阀是一根很短的一端闭口的橡皮管，管壁刻有一道纵向的小缝。当管里的压强大于管外压强时，管里的空气要撑开小缝跑出管外，当管外的压强大于管里的压强时，管外空气把小缝压紧，管内外空气不流通，所以空气只能从管里流向管外。如果气阀在导管里安装的方法不同，就分别可成为抽气阀和打气阀，如图 3-26。



(a)

(b)

图 3-26

图中纵管是抽气管，只许空气从管嘴进入，因此橡皮阀要套在管嘴入口处的另一端；横管是打气管，只许空气从管嘴排出，所以

橡皮阀要套在导管通往管嘴的出口处。这样，当活塞推进时，筒里的压缩空气就把纵管气阀的站缝压紧，把横管气阀的小缝撑开，空气就从横管排出来，起打气作用。当活塞拉出时，筒里的空气稀薄，压强降低，外面的空气就把横管气阀的小缝压紧，把纵管气阀的小缝撑开，空气就从纵管吸进去，起抽气作用。

抽气时，将橡皮管和被抽气的容器；连接到抽气筒纵管的管嘴；用来打气时，则将橡皮管把被打气的容器接到气筒横管的管嘴。

手持两用气筒抽气时可抽得 50mmHg，打气时可打到 3atm。

4. 手摇抽气机

手摇抽气机工作示意图为图 3-27。通过手摇飞轮，经曲柄连杆机构使活塞在气缸中上下运动，来回启闭进气通道和排气阀门进行工作。

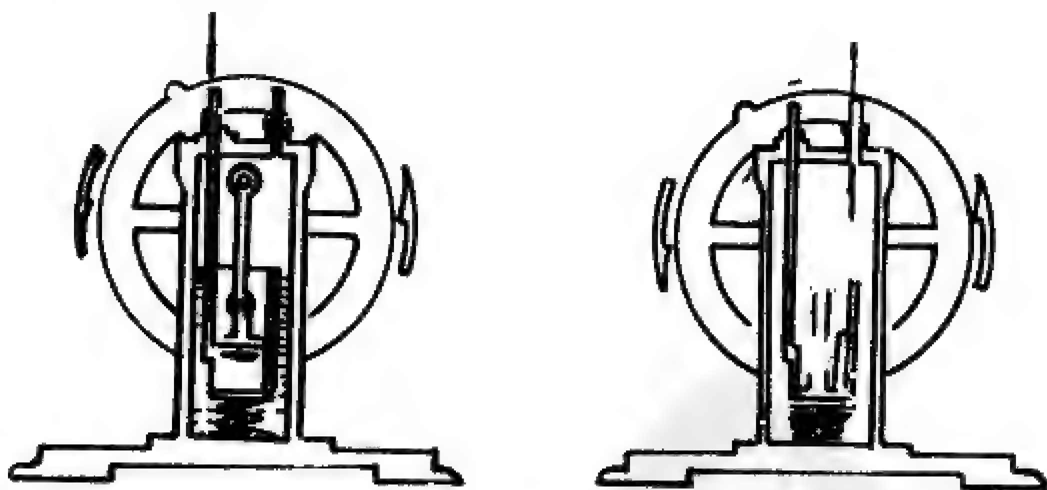


图 3-27

手摇抽气机抽气可达 0.4mmHg，打气可达 4atm。

用法如下：

(1)抽气时用橡皮管把被抽气的容器和抽气机的抽气孔连接起来。打气时则用橡皮管把被打气的容器和抽气机的排气孔连接起来。连接后，转动飞轮进行抽气和打气。

(2)抽气完毕后，立即将橡皮管从被抽空的容器或从抽气孔上

取下，以防大气压将机油压入被抽空的容器中。

注意：不用手摇抽气机时，应该用橡皮管把抽气孔和排气孔连接，以免灰尘进入机内。

【演示内容】

一、演示“大气有压强”

演示“大气有压强”的方法很多，这里介绍几种。

1. 纸片托水杯

如图 3-28 所示，杯子内盛满水，用纸片把瓶中盖严，然后用手把纸片按在杯口上将杯倒过来，纸片不掉，水不流出。



图 3-28



图 3-29

2. 瓶吞鸡蛋

找一只牛奶瓶，瓶中垫一层细沙。把一只煮熟的鸡蛋剥壳，先试着放在瓶口上，保证鸡蛋掉不下去。点燃酒精棉球，丢入牛奶瓶中，立即用剥了皮的鸡蛋堵住瓶口。如图 3-29 所示。一会儿，牛奶瓶将比其口径大的鸡蛋“吞”了进去。

3. 上升的塑料圆盒

找一只废“40W”H 光灯管，敲掉一端，装入少量水和细砂，摇晃着将其内壁的水银粉去掉，使其透明。找一个装 135 胶卷的塑料盒去掉盖。

演示时先将透明的日光灯管盛满水，然后把塑料盒开口向外放入日光灯管口，把日光灯管竖直立起来，可以看到随着管里的水

流出，塑料盒不仅没有被冲出玻璃管，反而向上端运动，直至管中的水全部流完。如图 3-30 所示。

这个演示实验由于塑料盒上升行程长，整个装置可见度好，因而演示效果十分好。

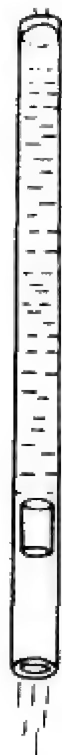


图 3-30

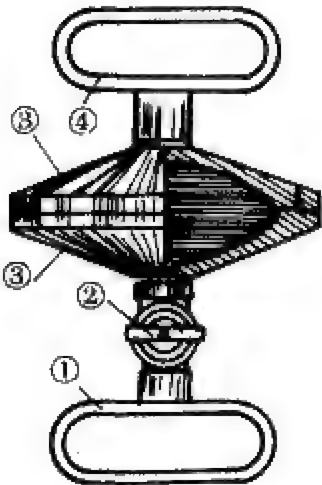


图 3-31

二、马德堡半球实验

马德堡半球实验，是历史上著名的故事。教材在“大气压强”这一章开始时就重点介绍了这个著名的实验。

马德堡半球结构如图 3-31，由①挽手、②活栓、③圆盘等组成。使用时，在两圆盘的对口处涂一层凡士林然后把它们合拢来，边压紧边转动，使其对口密合。

再在活栓上涂一层凡士林，用橡皮管将管嘴与抽气机相通，进行抽气（用前面介绍的两种抽气机都试一试）。抽气之后关上活栓。

演示时可以先在一挽手上悬挂重物，然后叫两个女同学上前

来拉，拉不开时再让两个力大的男生来拉。最后打开活栓，可以很容易将两个盘分开。

如果没有马德堡半球，可用一个大号注射针筒，排出筒内气体后，用橡皮帽密闭针头，然后把针筒倒过来，活塞拉手上至少可以悬挂一块砖！

三、演示托里拆利实验

尽管托里拆利实验在课堂演示中困难很多，但由于这个实验的设计思想、演示效果都可以称作演示实验的典范，学生们可以在课堂上看到三百多年前的著名物理学家的原始实验，还有什么比这样的实验更能激发他们学习的热情呢？因此，教材上依然保留了这个实验。

这个演示实验的难度主要表现在两点：灌装水银与玻璃管倾斜后的水银高度测量。现在的实验装置已作了较大改进，水银槽的底部做成了弧形，使得水银用量大大减少，也使得操作时更方便。另外，竖直的标尺上装了一根长指针，调整它，可以在玻璃管倾斜时较容易地读到水银柱的高度。

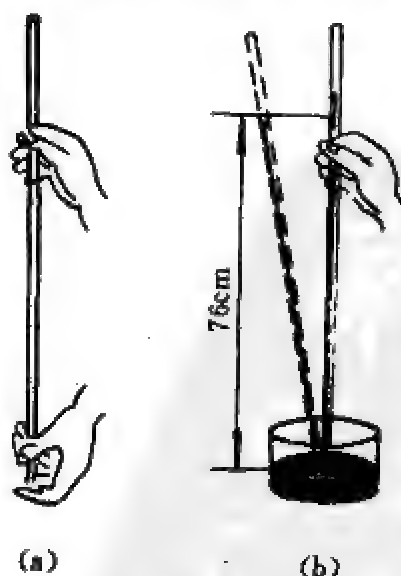


图 3-32

具体操作步骤如下：

(1)一只手握住玻璃管中部，往管内灌水银(详细过程见后面“参考资料”)，排除空气，用另一只手的食指紧紧堵住玻璃管的开口端(见图3-32a)，把玻璃管小心倒插在盛有水银的水银槽内，待开口端全部浸入至水银槽内时松开食指，将管子竖直固定(见图 3-32b)，读出水银柱的竖直高度(水银槽内水银面与管内水银柱的表面之高度差)。

(2)如图 3-32(b)，逐渐倾斜玻璃

管，管内水银柱的竖直高度不变。

(3)继续倾斜玻璃管，如图 3-32(b)，当倾斜到一定程度，管内充满水银，说明管内确实没有空气。因此，所测得的水银柱高度即是大气压强的值。

(4)实验完毕，将玻璃管徐徐抽出，水银即落槽里。

在此实验中，要注意以下几点：

①托里拆利管及水银槽在使用或收存之前，都要检查有无裂痕，有无微小水银粒留在仪器上或纸盒内。尤其要避免有伤口的皮肤接触水银，防止水银侵入血液。

②使用托里拆利管后，要洗净管的内壁，并用软木塞(或橡胶帽)塞住管口，并及时收藏好。

【参考资料】

1. 向托里拆利管中灌装水银

将干燥的托里拆利管开口向上竖直在某一大容器(例如大搪瓷盘)中，用一根长 1m 多的细铁丝插入管内，然后用专用的毛细管漏斗插在管中，毛细管口插到玻璃管底，将小烧杯中的水银缓缓地注入漏斗，经漏斗灌入管中。一边倒水银，一边上下抽动铁丝，并轻轻拍打管壁，将管内气泡排出。反复这样操作，直至将水银灌满。抽出铁丝后水银面下降，继续灌满，最后缓缓抽出漏斗。

灌装水银的关键在于不能让玻璃管中附有气泡，因此灌装过程不可急于求成，应按上述方法慢慢操作。

如果手头没有专用的毛细管漏斗，可以用大号医用注射针筒代用，方法是针头前面套上较细的注射塑料管插入托里拆利管底，然后慢慢推动针筒活塞将水银注入管里。

2. 使用水银时几点常识

做实验时与水银打交道并不可怕，可怕的是对水银一无所知。每个教师应了解下面几点常识。

(1)水银蒸气有毒，对人体有害，不可将水银掉落在桌上或地上。掉落在桌上和地上的水银应尽量收集起来。

(2)掉在地上的大小水银团可用硬纸片刮入铁畚箕。对于细小的水银珠，不容易扫起来，可在锥形瓶上加橡皮塞，塞子上分别插入两根玻璃管，一根长管通到瓶底，另一端用橡皮管接一尖嘴玻璃管，一根短管口接抽气机抽气，如图 3-33。尖嘴口对准的水银，可将地上或板缝中的一些水银珠吸入瓶中。为了防止水银蒸发，可在瓶中倒半瓶水。

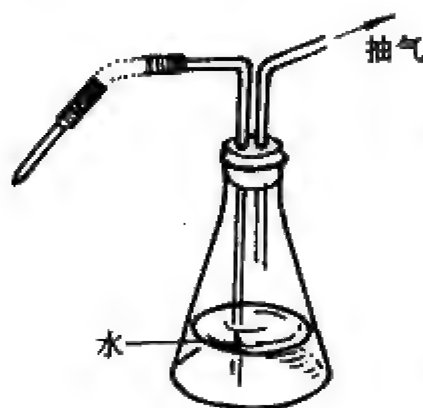


图 3-33

(3)水银溅落在房间后，为防止水银蒸气对人体的危害，可以撒一些硫磺粉或碘并开窗通风。硫磺粉或碘与水银蒸气发生化学反应，可降低室内水银浓度。

(4)水银中如果存有尘埃、金属氧化物，采用下述两种方法洁净。

①过滤法　放一张折成圆锥形的滤纸在漏斗中，滤纸顶尖用大头针戳一细孔，将水银沿滤纸缓慢而连续地倒入漏斗，不能间断，以免把滤纸上的灰尘杂质冲下去。若出现了中断现象，需另换滤纸。

②酸洗法　水银中的金属污物可以用酸清洗。在过滤时在漏斗下端装一根长约 0.5m 的软管，软管下端用夹子夹住，管中盛80%的浓硫酸约半管。这样，从漏斗流下来的水银必须经浓硫酸而沉淀于软管底部(夹子以上)。等水银多了就打开夹子放水银流入下面容器中。又夹住夹子，等水银过滤。由于水银密度大，经这种浓硫酸清洁之后，金属污物基本上都可以清除掉。至于最下层的水银中如果含酸，可用蒸馏水倒入水银中，洗去酸液。

【思考题】

1. 记录托里拆利实验的数据，分析实验的误差。并写出你对改进该实验的体会(从实验装置技能和演示教学方面进行分析)。

2. 设计一个有关大气压强的实验，绘出简图，并说明在教学上的功能(引入、建立、巩固、深化概念等)。

§3.5 训练五　研究浮力、阿基米德定律的实验

【训练目的】

1. 掌握有关浮力和浮力定律实验的演示方法。

2. 研究浮力利用的演示实验。

3. 探讨培养学生动手能力的教学方法。

【实验器材】

自制的浮力演示器、阿基米德定律演示器、溢水杯(自制)、烧杯(250ml、500ml 各一只)、废牙膏皮、汽油、煤油、氯仿若干，自制潜水艇模型，自制热气球，圆柱体一个。

【仪器简介】

阿基米德定律演示器

仪器的构造如图 3-34 所示。该装置主要由悬挂弹簧 1、上游标 7、下游标 8、标盘 2、长杆钩 3、圆桶 4、圆柱体 9、溢水杯 5、小烧杯 6 组成。

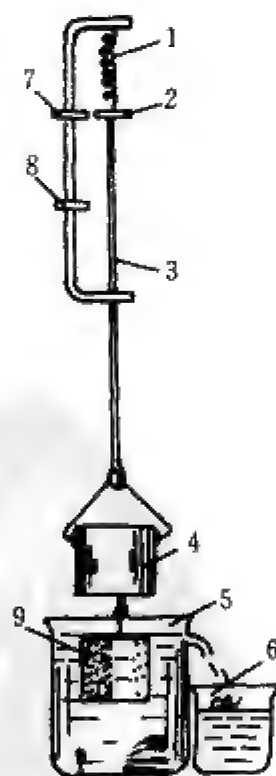


图 3-34

使用时，演示步骤如下：

(1)长杆钩下悬挂小圆桶 4，小圆桶下悬挂圆柱 9，游标 8 此时确定弹簧伸长后标盘 2 所示的位置。

(2)圆柱体 9 浸入斜杯 5 中，用小烧杯 6 接住斜杯中溢出的水，直至圆柱体全部浸入水中为止。

(3)柱体全部浸入水中后，用上游标确定此时标盘的位置。

(4)将小烧杯中的水逐渐倒入圆桶里，圆桶再次下降，当小水桶中的水全部倒光后，标盘正好指着下游标 8 的位置。

这说明圆柱体浸入水中排开同体积水的重量，等于圆柱体所受到的水的浮力。

【实验内容】

一、演示浮力产生的原因

这一部分参看本书第六章§6.4的内容。

二、阿基米德定律的演示

阿基米德定律的演示可以采用前面介绍的阿基米德定律演示器进行演示。

练习使用阿基米德定律演示器。

实验中所需要的溢水杯也可以自制。制作方法很简单：截去矿泉水塑料瓶的上部，仅留下下部，在下部靠近瓶沿处开一小孔，斜插入塑料圆珠笔管，将接口处粘牢密封不漏水，如图3-35所示。



图 3-35

除了自制溢水杯，还可以采用图3-35所示装置代用溢水杯。

在没有阿基米德定律演示装置时，用100g或200g的弹簧秤也可以演示，只是需要记录所示的读数。

为了说明阿基米德定律不仅适用于液体，也适用于空气中，可以设计一个演示实验。这个演示实验参看第六章§6.4的内容，用一个气球，一个易拉罐加上铁丝等，就可以演示空气中也存在浮力。

研究浮力利用的演示实验

这一部分教学，除了介绍教材中引用的材料，应尽量让学生动手动脑，结合生活中常见的物品，进行各种制作。

1. 密度计

用一只空牙膏皮，从底部打开，用一圆木棍逐渐将其鼓起来直至鼓圆。洗净内壁。

盖上塑料帽，将其开口向上竖直放置，溶化松香后滴入管中。沿管外壁竖直贴一张白胶布。

最后标定刻度线。把牙膏管开口向上竖直插入纯淡水中，用铅笔记下水平线，即为 1g/cm 的密度刻度线。依此方法，分别将牙膏插入汽油、煤油、氯仿中，标出刻度。自制的密度计就完成了。

2. 潜水艇模型

教学经验告诉我们，当学生完成本章"小制作"时，有一部分同学想象丰富，肯开动脑筋，可以制出许多意想不到的潜水艇模型。

教师在辅导、检查学生小制作时，注意几个要点：

①设计要巧妙，操作起来十分容易。

②制作材料是利用日常生活废弃物品，不可求奢。

③制作工艺上要力求简单，不可太复杂。

3. 热气球

热气球的制作使用可参看本书§8.8的内容。

【思考题】

1. 教材中用烧杯倾斜后来作为溢水杯，与自制的溢水杯比较一下，哪种误差大？为什么？

2. 当用阿基米德定律演示器进行演示实验时，应该怎样循序渐进地导出结论？写一篇教学方案。

§3.6 训练六 研究动能、势能相互转化的演示

【训练目的】

1. 通过演示实验，让学生了解动能与势能可以相互转化，在相互转化过程中机械能总量保持不变。

2. 掌握动能、势能相互转化的几种演示实验方法。

【实验器材】

滚摆(J2123 型)、单摆、弹簧、钢球、自制水轮机模型等。

【实验内容】

一、滚摆的实验

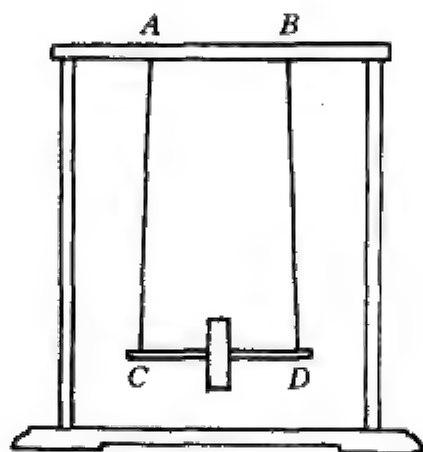


图 3-36

如图 3-36 所示，将滚摆摆体用结实的双线挂在支架横梁 A、B 处的小孔内。调节两悬线的长度使摆轴水平，并使 A、B 的距离略小于 C、D 的距离。

1. 用手转动滚摆的轴，使悬线缠绕在轴上，滚摆上升。当滚摆上升到一定高度时，在支架的立柱上标出这个高度。然后将手松开，滚摆就旋转着向下降落，当滚摆下降到最低处，用手将滚摆接住。分析滚摆在下降过程中速度的变化情况。

2. 重复上述动作，用手将滚摆上升到原来的高度。将手松开，让滚摆下降到最低处后向上旋转运动，当滚摆运动到可能达到的最大高度时，又用手把滚摆握住，分析滚摆在上升过程中速度的变化情况。

3. 重复上述实验，使滚摆上下做几次滚动，观察滚摆势能、动能相互转化的情况。

由实验观察和分析，可以得出结论：如果没有空气阻力和其他因素影响，在动能和势能相互转化的过程中，机械能总量保持不变。

二、单摆实验

如图 3-37 所示，尽量选一根较长一点的棉线作摆线，悬挂在支架上某一点处。让摆球摆至某一高度时自由释放，摆球将在平衡位置附近作往复运动。摆至两边最高点时，摆球具有最大势能。摆

球经过低点时，具有最大动能。如果空气阻力较小，摆球可以来回摆动多次才停下来

这里不是讨论单摆的简谐振动，故摆角大于 5°也无妨。

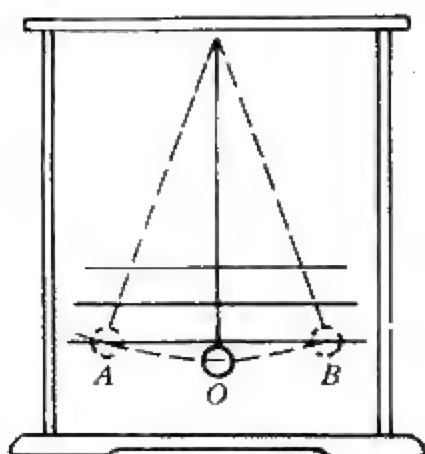
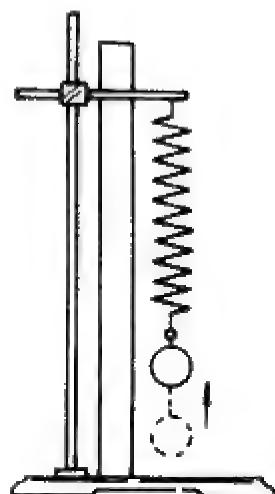


图 3-37


图 3-38

三、弹簧装置的实验

如图 3-38，将一弹簧与一带柄小钢球连接起来，先将小球向下拉至最下端然后松手。小球将向上端运动并压缩弹簧，小球到最高点之后，又被弹簧向下弹，使小球向下端运动并拉长弹簧。观察小球运动情况，分析小球的动能与势能转化。

四、水轮机模型

水轮机模型的制作及使用参看本书第六章§6.6的内容。

【思考题】

自行设计一套实验教具，演示动能与势能之间的转化。

§3.7 训练七　伏安法测电阻和测定小灯泡功率的实验研究

【训练目的】

1. 运用误差理论来确定实验方案和选择实验器材。

2. 根据实验条件来确定实验的误差范围和减小误差的措施。

3. 研究如何指导学生做好这两个实验。

【实验器材】

直流安培表(量程 0-0.6-3A,2.5 级,满量程表头压降 U=75mV)、直流伏特表(0-3-15V,2.5 级,满量程表头电流 I=3mA)、滑线变阻器(0-50Ω、1.5A)、电阻箱(9999Ω)、电阻圈(5Ω、1.5A;10Ω、1A;15Ω、0.6A)、学生电源、电键、电池、小灯泡(1.2V、2.5V、3.8V)、灯座、导线若干。

【仪器简介】

1. 学生用直流安培表

安培表的表头结构采用磁电式。整个表头装在带玻璃窗的斜坡形外壳内,外壳用胶木制成,壳底用铝板(或胶木板)盖牢。在线路中装有 0.6A 和 3A 的分流器。表壳有三个接线柱分别标有"+"、"0.6"和"-3"的标记。表面上有两套刻度,当使用"+"和"0.6"两个接线柱时,从 0~0.6 刻度上观察读数;当使用"+"和"-3"两个接线柱时,从 0~3 刻度上观察读数。表壳正面中间有调零接线柱时,从 0~3 刻度上观察读数,表壳正面中间有调旋钮。

这种表在使用时应放在水平桌面上,先调节零点。然后把安培表串联在被测电路中,用"+"接线柱接电路中高电势端。根据需要的量程,有"0.6"或"-3"接线柱接电路中低势端。

测量前,应先估计一下被测电路的电流强度,测量时所选用的量程必须大于被测电路的电流强度,为了避免由于被测电流超过

量程而使指针碰弯或烧坏游丝和动圈绕组，在任何情况下，不要将直流安培计直接连到电池两极。同时，不论选用任何量程，都要试触一下之后再正式接通电源。

2. 学生用直流伏特表

伏特表的表头结构也是磁电式的。伏特表表壳上三个接线柱分别标有“+”、“3”和“15”的标记。表面上也有两套刻度，分别表示不同的量程。当使用“+”和“3”两个接线柱时，从 0～15 刻度上观察读数。表壳正面中间有调零刻度。

伏特表在使用时，使伏特表与被测电路并联，将伏特表的“+”接线柱与被测电路的高电势点相连。

测量前，先应估计一下被测电路的电压，然后选用量程。选用量程必须大于被测电压值。

伏特表其它用法和注意事项与直流安培表相同。

3. 学生用灵敏电流计

灵敏电流计表头结构采用磁电式，灵敏电流计外壳均用塑料压制成，表头装在带玻璃窗的斜坡形表盖内。表壳中间有一零点调节器，接线端钮旁注有正负符号。该电流计当敏度为 300±30uA，内部电阻 8.2-9.5Ω。

使用前应先检查指针是否对准零点，如有偏差，应先调整零点调整旋钮。用灵敏电流计检查电路中微弱电流时，可直接串联在待测电路中，从电流计指针是否偏转来确定电路中有无电流通过。如果指针向右偏转，则表明电路中的电流方向是从“+”流入电流计后从“一”流出；如果指针向左偏转，则电流方向相反。因此，用灵敏电流计可以检查电路两点间是否存在电势差，确定电路中电势的高低。

在使用灵敏电流计时要注意两点：

(1)灵敏电流计只能作为检流计使用，不能测定准确的电流强度或两点间的电势差。

(2)在任何时候都不应使通过电流计的电流强度超过满刻度

电流值，更不要将电流计误当作安培计或伏特计接入电路否则，灵敏电流计容易被烧坏。

4. 电阻圈(J2358 型)

J2358 型电阻圈一组四只，规格分别为 5Ω、1.5A；10Ω、1A；15Ω、0.8A；30Ω、0.5A，阻值精度达±1%。外形如图 3-39。

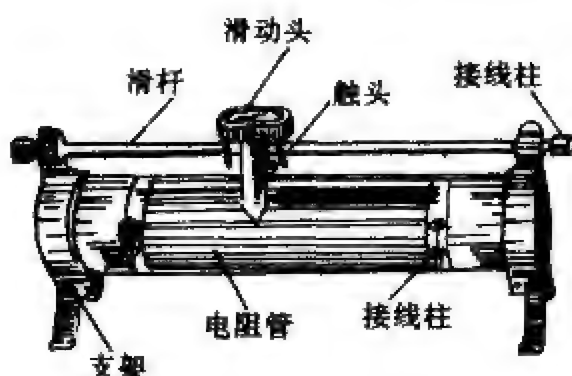


图 3-39

一般情况下，切勿随便拆开电阻圈，以免电阻值发生变化。使用时注意两点：

(1)检查线头与接线柱接触是否良好。

(2)各电阻的标称电流，为容许连续安全通电的最大值。

5. 滑动变阻器

滑动变阻器是根据改变电路中电阻丝的长度来改变电阻值的原理制成的，外形如图 3-42 所示，它内电阻管(电阻丝线圈)、接线柱、滑杆、滑动头、触头、支架等组成。

使用前应先将滑动头来回滑动数次，以便刮掉触头与电阻丝线圈间的氧化绝缘层，以及附在表面的其它影响接触的物质。用滑动变阻器来调节电路中的电流强度时，应该将滑动变阻器的电阻值调到最大值，再接入电源，然后慢慢把电流强度调到适当的量值。用变阻器来调节电路两端的电压时，应将它和电路并联。这时要先将变阻器的电阻调到最小值，再接通电源。

使用时，每只变阻器所通过的电流强度，不得超过标称值。触头要保持清洁，弹性片压力不够时，可将滑动头取下，适当拨拢，使接触压力加强。

6. 旋转式电阻箱

旋转式电阻箱面板如图 3-40。它由四个定位旋钮组成。$R\times1$，

$R\times10$，$R\times100$，$R\times1000$ 的旋钮，分别指示电阻值的个位、十位，百位和千位数字。四个部分串联相加，即是电阻箱接入电路后的阻值。调节 4 个旋钮可得到 0～9999 之间的任一个电阻整数值。

不要把电阻箱当作降压电阻使用，不要用电阻箱来控制电流强度，以免烧毁电阻丝。

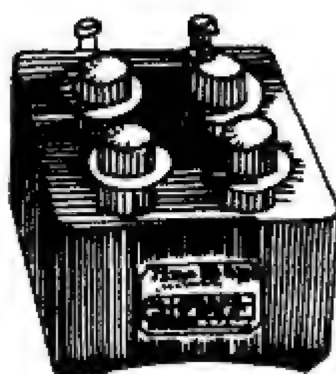


图 3-40

【实验内容】

一、伏安法测电阻

伏安法测量电阻时，根据安培表是否接入电压表的测量电路中而称作外接法与内接法。

外接法与内接法电路如图 3-41 与图 3-42 所示。

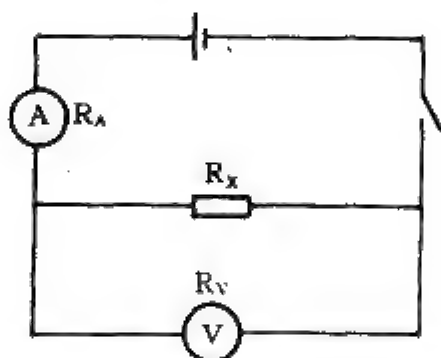


图 3-41

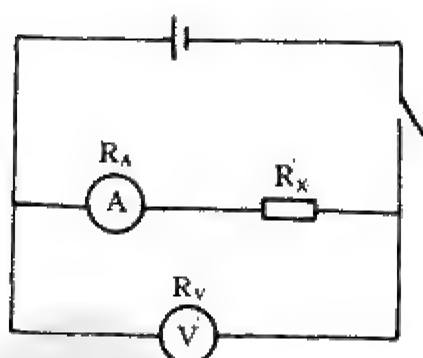


图 3-42

外接法测电阻时，如图 3-41，一般安培表接 0.6A 量程，伏特表量程接 3V，其伏特表内阻大约是 1.0KΩ，因此要使线路误差在 1%以下，则待测电阻应在 10Ω 以下(为什么?)。选用 5Ω、1.5A 的电阻圈测量一组数据。

内接法测电阻时，如图 3-42，由于安培表接入伏特表测量回路中，考虑到安培表的内阻一般为 0.125Ω，所以要使线路误差不

超过 1%。待测电阻值应在 12.5Ω 以上(为什么?)。选用 30Ω、0.5A电阻圈测量一组数据。

二、电阻的串联与并联

用两只 30Ω、0.5A 的电阻圈串联,伏特表量程选 15V,安培表量程选 0.6A,测量一组数据。

做电阻并联的实验时,用两只 5Ω、1.5A 的电阻圈并联,此时安培计、伏特表各选用多大量程?测量一组数据。

三、测定小灯泡的功率

教材中要求测定的三种小灯泡一般规格是“1.2V,0.3A”、“2.5V,0.3A”、“3.8V,0.24A”。在不考虑灯丝电阻的实际差异和变化时,1.2V 与 2.5V 的小灯泡功率应采用安培表的外接法进行测量;3.8V 的小灯泡应采用安培表的内接法进行测量(为什么?)

选用“2.5V,0.3A”的小灯泡做实验,完成以下练习:

(1)直接测出灯泡两端的电压在三种情况下,由小灯泡的电流计算小灯泡的功率:①$(1-1/5)U$;②U;③$(1+1/5)U$。

(2)测一组电压和电流值,作伏安特性曲线,用内插法找出对应于$(1-1/5)U_{额}$、$U_{额}$、$(1+1/5)U_{额}$的电压值,由此算出对应的小灯泡功率。

【参考资料】

1.伏安法测电阻的系统相对误差

安培表外接法测电阻时,电路如图 3-44。测量 V/I 为 R 与伏特计内阻 R 的并联总阻值,即

$$R'=V/I=R_xR_v/(R_x+R_v)$$

由此引起的系统相对误差

$$\delta R_x=\frac{|R'-R_x|}{R_x}=\frac{R_x}{R_v+R_x}$$

$$=\frac{1}{1+\frac{R_v}{R_x}}\times 100\%。$$

这就是由电路中伏特表的分流作用而产生的系统误差。

同理，对于安培表内接时，测量值 V/I 实际上是 R_x 与 R_A 之和。即

$$R'=V/I=R_A+R_x。$$

系统相对误差：

$$\delta R_x=\frac{|R'-R_x|}{R_x}=\frac{R_A}{R_x}\times 100\%。$$

2. 根据电流表的准确度来选择待测电阻规格和确定实验误差范围

设电表的准确度级别为 k，则测量中的最大绝对误差为满量程的 $k\%$，即

$$\Delta I=I_m\cdot k\%$$

$$\Delta U=U_m\cdot k\%$$

由间接测量的误差传递公式可知

$$\frac{|\Delta R|}{R}=\frac{|\Delta U|}{U}+\frac{|\Delta I|}{I}。$$

测电压产生的最大相对误差：

$$\delta V=\frac{\Delta U}{U}。$$

实验时，学生用安培表、伏特表的准确度级别是 2.5 级。故用 0.6A 档测电流，用 3V 档测电压产生的绝对误差是

$$I=0.6\times 2.5\%=0.015(A);$$

$$U=3.0\times 2.5\%=0.075(V)。$$

因此，待测电压在满量程的 2/3 以上时，由此产生的电压测量误差范围在

$$(\frac{0.075}{3.0}\sim\frac{0.075}{2.0})=(2.5\%\sim 3.8\%)。$$

由误差传递合成可知，整个实验的系统误差若要控制在7.6%

以内，待测电阻的规格应是

阻值　$R_x=3.0V/0.6A=5.0\Omega$

功率　$P_x\geqslant 3.0V/0.6A=1.8W$

显然，电阻圈中 5Ω 的电阻满足此要求。

3. 测定小灯泡的实验误差

如果待测小灯泡的额定电压为 2.5V、电流为 0.3A，则此小灯泡的额定功率

$$P_o=IU=0.3\times 2.5=0.75(W)$$

在额定电压下，灯丝电阻大体为 8Ω，考虑到表头内阻为 1kΩ，因此实验中最大相对误差应是

$$\begin{aligned}\delta P_{\text{总}}&=\delta P_{\text{方}}=\delta P_{\text{表}}\\&=\frac{R_x}{R_v+R_x}+\frac{\Delta U}{U}+\frac{\Delta I}{I}\\&=\frac{8}{1000+8}+\frac{0.075}{2.5}+\frac{0.015}{0.3}=9\%。\end{aligned}$$

最大绝对误差：$\Delta P=P_o+9\%=0.07W$

测出小灯泡的功率应是

$P=P_o\pm\Delta P=0.75\pm 0.07W$。

此值没有考虑灯丝电阻的实际差异和变化。

【思考题】

1. 在用伏安法测电阻时，如果待测电阻为 2.5Ω，80Ω，还是用练习中介绍的安培表和伏特表测量，则电源应选用多大？安培表与伏特表选用多大量程可使误差尽可能小？

2. 测定小灯泡功率作出伏安特性曲线，为什么特性曲线不是直线？

3. 在指导学生进行实验时，应向学生提出哪些要求和注意事项？

§3.8　训练八　研究电磁现象的演示

【训练目的】

1. 掌握电现象、磁现象、电磁现象演示实验的操作及仪器的使

用。

2. 了解简单的充磁、消磁方法。

3. 研究电磁现象演示实验教学方法。

【实验器材】

丝绸、毛皮、橡胶棒、有机玻璃棒、塑料唱片、指针验电器、两只气球、废牙刷两只、条形磁铁、蹄形磁铁、铁屑、磁针、玻璃板一块、漆包线若干、低压电源(J1201 型)、小型电动机模型(J2418 型)、演示电表(J0401 型)、导线若干、物理支架等。

【仪器简介】

一、验电器

验电器分指针式与箔片式两种，这里主要介绍指针验电器。如图 3-43。

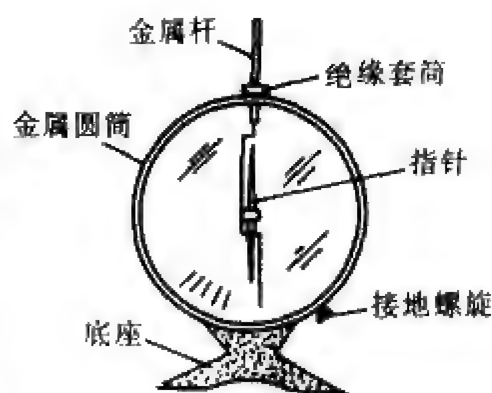


图 3-43

指针验电器的指针与导杆相连，但与外壳保持绝缘。如果外壳接地，毛玻璃上标有指针张角的标度，又称为静电计。

指针验电器的用途主要有四点：

1. 可以检验物体是否带电。

2. 可以区分两种电荷的异同。

3. 可以检验物体的绝缘性能。

4. 可以比较同一导体的电势和电量。

指针验电器在使用前要用柔软干布擦净绝缘套筒。如果仪器受潮，应把它烘干后再用。使用时在毛玻璃后面放一盏(25～40)W的白炽灯照明，可以更清楚地观察到指针偏转时所到达的标度。

用指针验电器做实验时，有两点务必请注意：

①导杆与外壳间要绝缘良好。

②指针偏转要灵敏。

二、磁针

磁针可以演示磁体的指向性、磁极的相互作用、检查周围有无磁场、确定磁场的方向、比较磁场的强弱和检查导线中有无电流。分翼式磁针如图 3-44 所示。一般用蓝色表示磁针“N”极，用红色表示“S”极。

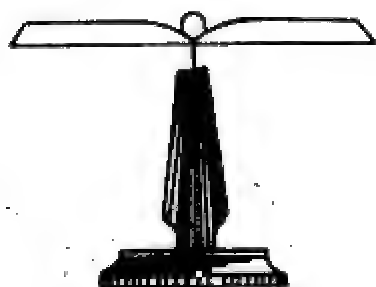


图 3-44

使用时注意支持磁针的小钢针是否生锈，若生锈了一定用砂纸轻擦一下。演示方法如下：

①演示磁体的指向性时，将磁针轻轻拨动，到它自行停止时，指向必定是 N 极指北，S 极指南。

②演示磁极的相互作用时，将两个磁针同极的两端接近，这两端总是相斥。异极的两端总是相互吸引。

③演示比较磁场的强弱时，将两条磁极强度不同的磁体先后放在磁针距离相同的位置上(不要距离磁针太近)。由磁针先后两次偏转的角度或转动的快慢不同，可以比较两个磁体的磁极的强弱程度。

④确定外磁场的方向时，将磁针放在磁场中，由磁针的指向可确定外磁场的方向。

⑤检查导线中有无电流，并判明电流的方向时，将一磁针靠近载流直导线，可以从磁针有无偏转来判定导线中有无电流。根据磁针最后的定向，用安培定则(即右手螺旋定则)判明电流方向。

在使用与保管磁针时，应避免剧烈振动或接近高温热源，不要和其它磁性体杂乱放在一起。不能使磁针接近强磁体。

三、电磁继电器

J2413 电磁继电器工作原理如图 3-45 所示，使用时结合学生电源、低压电源、演示电表和电动机模型等一起配合使用，按照图 3-46 连接起来。注意低压电源用直流 8V 档输出，演示电表用 0～100mA 档，调节滑动变阻器，使演示电表指示为 60mA。另外根据电动机模型需要的直流电压，选择好学生电源的直流输出。

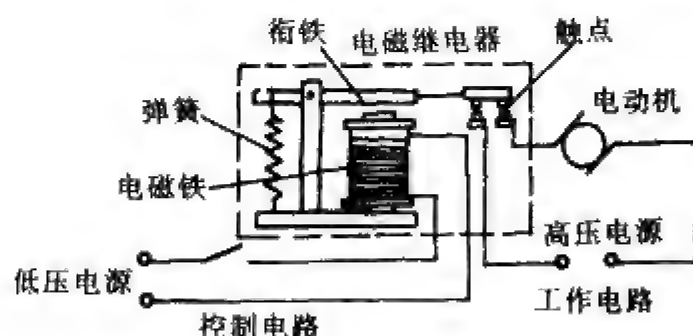


图 3-45

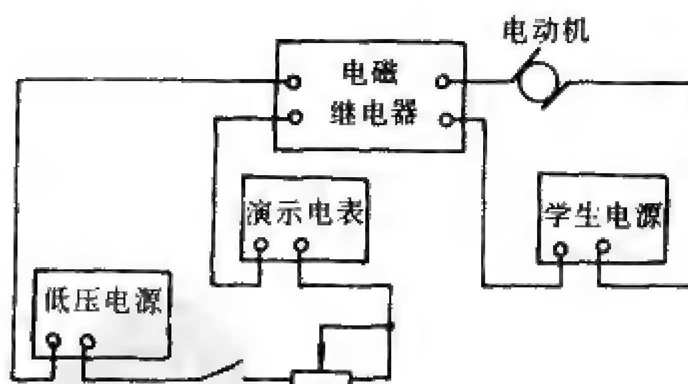


图 3-46

电磁继电器也可以简易制作，制作方法是：用直流约为 0.38mm的漆包线圈，铁芯可用直径 6～8mm 的螺线杆代替。其他零件的规格可自己设计。如果没有 0.38mm 的漆包线也可用其他规格的漆包线代替，匝数的多少可通过实验来决定。

【实验内容】

一、演示摩擦起电

用丝绸、毛皮、尼龙布料在玻璃棒、橡胶棒、塑料唱片上摩擦后，它们都可以分别带上电。把摩擦后的玻璃棒、橡胶棒、塑料唱片靠近纸屑、头发、羽毛等轻小物体，可吸引这些轻小物体。

通常摩擦起电时，有下表成立。

表 3-3

相互摩擦物体	带电情况
1. 丝绸与有机玻璃棒	有机玻璃棒带正电，丝绸带负电
2. 毛皮与橡胶棒	毛皮带正电，橡胶棒带负电
3. 毛皮与有机玻璃棒	毛皮带正电，有机玻璃棒带负电
4. 毛皮与塑料唱片	毛皮带正电，丝绸带负电

摩擦起电实验中，有时物体带电情况会发生变化，这是因为物质摩擦带电情况不仅与物质的化学结构有关，还与物质表面的性质、温度、应变状态和接触方式等因素有关。

请用实验器材，相互摩擦后用验电器检验一下它们的带电种类(用上表中 1,2 两种情况下得到的电荷作为已知电荷)。

思考：如何用验电器检验两种带电体电荷的异同?是观察验电器指针最后张开的角度，还是观察检验电荷逐渐靠近验电器时，验电器指针的张角变化？为什么?

摩擦起电用验电器检验时，除了前面“仪器简介”中对验电器的要求，另外注意如下三点：

①相互摩擦的物体应该比较干燥，最好在实验前先烘一下。

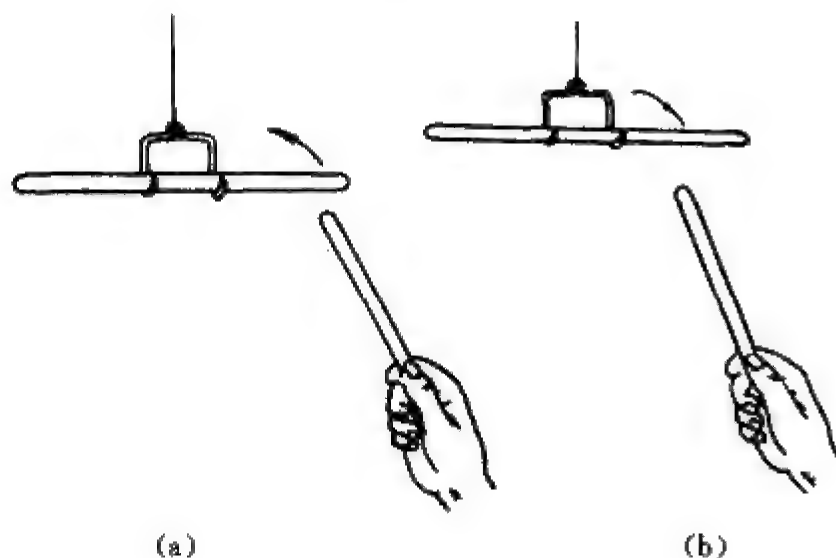
②注意操作姿势应该规范化。例如用毛皮摩擦橡胶棒时，应该用手指掐住橡胶棒的末端，手拿丝绸也是用手指去拿，尽量不用手掌(思考一下：为什么?)。

③注意操作动作应该正确。例如摩擦应沿一个方向进行。为

使摩擦后橡胶棒上的电荷尽可能多的转移到验电器上，应使棒靠在验电器的导杆上往复地进退和转动（思考一下：为什么？）。

二、演示电荷相互作用

如图 3-47，用丝绸摩擦过的两根玻璃棒互相推斥，见图 3-47(a)。用毛皮摩擦过的两条橡胶棒也互相推斥。但是用丝绸摩擦过的玻璃棒与毛皮摩擦过的橡胶棒互相吸引，见图 3-47(b)。



(a)　　　　(b)

图 3-47

演示电荷间互作用时，还可以用下面两种方法来进行演示。

方法一：并排悬挂两只气球，在无风的情况下，两只气球可以靠在一起，但是用一丝绸在两气球上摩擦一下，此时会发现两气球再也不靠在一起了。如图 3-48 所示。

方法二：找两只废弃塑料牙刷，一只悬挂，一只持在手中。先用丝绸将两只牙刷分别摩擦一下，此时两牙刷会互相排斥。用手掌去握一握两牙刷柄，消除上面的剩余电荷。再用丝绸摩擦悬挂的牙刷柄，然后用一张食品包装塑料袋的碎片摩擦手持的牙刷柄，当用手中的牙刷逐渐接近悬挂的牙刷时，二者互相吸引。手持牙刷沿外圆移动，悬挂的牙刷也会魔术般地随之转动。如图 3-49 所示。

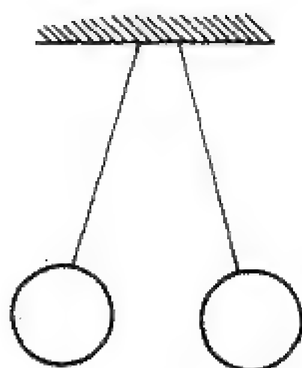


图 3-48



图 3-49

这两种演示方法由于采用了日常生活用品，故学生兴趣大，演示效果较好。

三、演示简单的磁现象

自行设计方案，演示如下内容：

1. 磁铁具有吸铁性。
2. 磁体具有指向南北的性质。
3. 磁极之间的相互作用。
4. 磁化现象。

四、磁场与磁力线的演示

1. 磁体周围空间存在着磁场，磁场有方向

在投影幻灯机上，把一些小磁针放在条形磁铁的周围（距离不可太近），如图 3-50 所示，可以发现小磁针受到了磁铁的作用力。

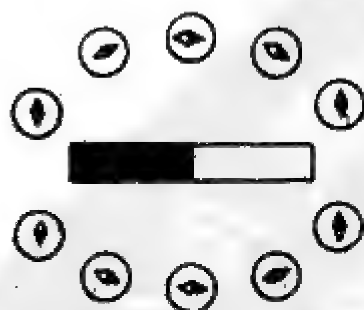


图 3-50

改变小磁针的位置观察磁针的指向变化了，这说明小磁铁周围的任何位置都受到了磁铁的作用力。

另外发现，小磁针在不同位置所受磁场力大小和方向不同。磁铁与磁针未直接接触，这说明磁体周围空间存在着磁场，磁体间的相互作用是通过磁场而发生的。

注意，在这个演示实验中，小磁针不透光，因而投影只能看见小磁针的暗影。为了表明磁针的指向，可以在S极指针的针端，贴上一小块红色透明薄膜，以表示S极。这样投影到屏幕上之后，可以确定S极的指向。

2. 演示磁力线

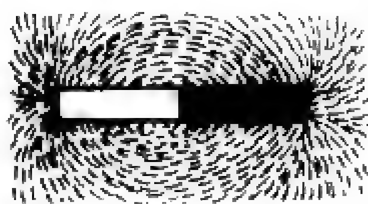


图 3-51

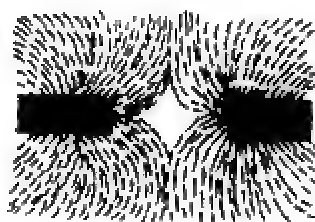


图 3-52

把铁屑均匀撒在玻璃板上，再将玻璃板轻轻放在条形磁铁上，轻敲玻璃板后，引导学生注意观察铁屑的排列，如图 3-51。指出铁屑的排列情况可用磁力线来表示，磁力线都是从磁铁北极出来回到磁铁南极的。再如图 3-52，演示同极磁铁周围的磁场。

用同样的方法演示蹄形磁铁周围的磁场。如图 3-53。

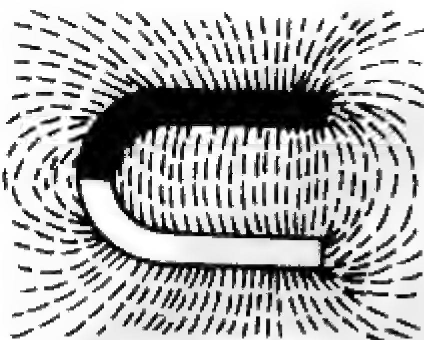


图 3-53

这样的演示情况下，玻璃板只能平放，如果要想把玻璃板竖直放置让学生看磁力线则有困难。可以用如下方法得到磁力线谱：先将玻璃板上贴一张透明蜡纸，均匀撒上铁屑。再将玻璃板放在磁铁上，轻敲玻璃板，铁屑便沿磁力线排列起来。然后手持酒精灯在玻璃板下方缓慢移动，直到蜡纸上的蜡熔化发亮时为止。蜡冷却凝固后，铁屑就粘在蜡纸上了，把蜡纸固定在

一块木板上悬挂起来，就可以让学生都能清楚地看到磁力线谱了。

五、电流的磁场

1. 奥斯特实验

按如下步骤演示：

①把直导线沿南北方向安置在支架上，在直导线下方相距 1 厘米处平行放置磁针。再将电源、电键、滑线变阻器接成回路，如图 3-54。

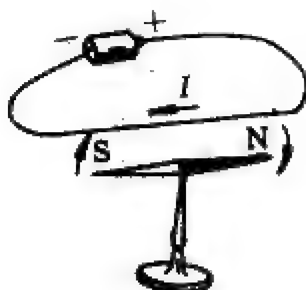


图 3-54

②把滑动变阻器触头滑至中部，按下电键，直导线中通过电流，即可看到磁针发生偏转。

③将磁针放置在直导线上方、左侧、右侧等位置，重复实验。当导线中通有电流时，磁铁发生偏转。

④改变直导线中的电流方向，再按下电键，接通电源，观察到磁针也发生偏转，但偏转方向与步骤 2 相反。

总结实验观察结果：电流的周围存在着磁场。改变电流方向，磁场方向也发生改变。

磁针还可以用悬挂方法，效果也很显著。

注意通电时间不要太长。

2. 通电螺线管的磁场、安培定则

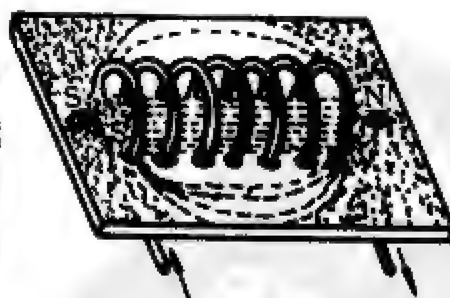


图 3-55

用直径 0.6—0.8mm 的漆包线(5～10)股(即用 1m 导线代替一根导线，这样需要的电流强度较小，而效果又比较显著)。穿过硬纸上的小孔制成一个螺丝管。将铁屑均匀撒在螺线管穿过的硬纸板上，可以观察到通电后螺丝管周围的磁力线分布情况，与条形磁铁相似，并且在螺丝管内部也有磁力线分布。

如图 3-55 所示。

把小磁针放在通电螺线管附近测试，可以确定通电螺线管的“N”极与“S”极。

改变通电螺线管中电流方向，仍置磁针于通电螺线管附近测试，可以发现 N、S 极也在发生变化。这说明通电螺线管两端的极性跟螺线管中电流的方向有关。可以用安培定则来说明：用右手握螺线管，用四指弯向管中电流的方向，则大拇指所指方向为螺线管的北极。

倘若用有机玻璃板代替硬纸板，可以配合投影装置使用。

六、演示电磁继电器的工作原理

自行设计实验方案，完成演示电磁继电器的工作原理。

讲解电磁继电器的工作原理时既要用模型演示，也要介绍实际的电路；既要从原理上讲清楚控制电路和工作电路的工作过程，又要介绍实际上是怎样接线的。整个讲解过程要突出电磁铁所起的作用。

还有一点要向学生讲解明白，演示用的电磁继电器为了教学上的安全起见，工作电压定得很低，一般是(3～6)V。因而，工作电路中的电压与电磁继电器的控制电路中的低压没有关系。

【参考资料】

1. 自制电容式强脉冲充磁电源

在电磁现象的许多实验中要用到大电流电源，图 3-56 是一种

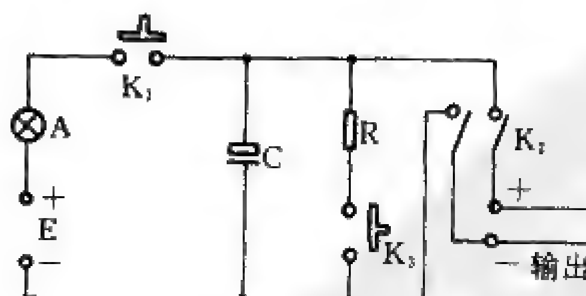


图 3-56

较简单和电容放电式脉冲电源的电路图，可以自制。

图中，E——接 250V 高压直流电源。

A——“220V，60W”的灯泡，充电时用它进行限流。

K_1——电铃按钮开关。

C——用 6 只“300V，100μF”电解电容并联组成 600μF 的大容量电容。

K_2——闸刀开关。

K_3——电铃按钮开关。R——约 1kΩ 左右。K_3、R 用来泄放电容器的能量，保证使用安全。

2. 对永久性磁铁充磁

实验室里常用的条形、蹄形磁铁，当磁性减弱时或者消磁后，可以进行充磁。如图 3-57 所示。图中是充磁线圈，按磁铁规格做两只骨架，各用直径为 0.6mm 的漆包线密绕（100～180）匝。

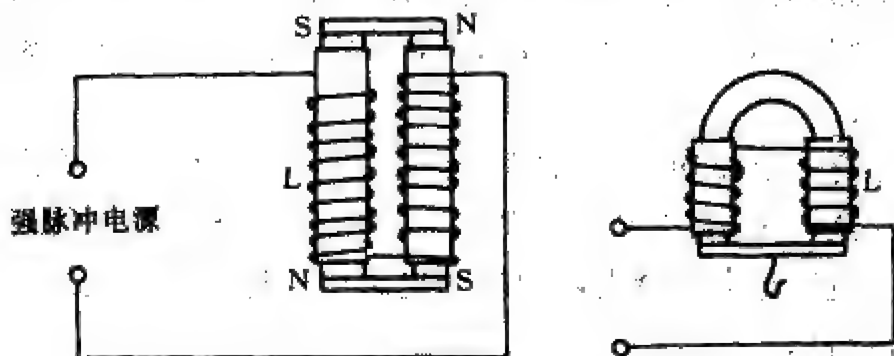


图 3-57

充磁前，要用铁块连接两磁极，以保证磁路回路。并且注意接触要良好，尽量避免磁漏。

用前面介绍的充磁电源来充磁。接通高压直流电源 E，按下 K 对 C 充电，线圈中通过单向电流，重复（3～4）次。图中两根条形磁铁就同时被磁化。一般充磁线圈的电阻和电感都比较小。同时在线圈中就有足够强的磁场使充磁的磁体得到很好的磁化。

注意在充磁前后，应断开 K，按下 K，使电容贮存的电荷释放

掉。

【思考题】

1. 怎样用验电器检验绝缘体是否漏电？分别检查木块、纸张、塑料制品的绝缘性能。

2. 如果静电实验做不成功，应该从哪几个方面检查故障原因并排除它？

3. 在演示奥斯特实验时，为什么要在实验前将滑动触片置于中部？

第四章　高中物理实验教学技能训练

本章结合高中物理教学提供了八组专题训练。这八组训练着重于重要的演示实验方案设计及定量实验的数据处理，部分有难度的演示实验与学生分组实验指导。最后根据中学教学发展实际需要，练习使用常见的电化教学工具。

§4.1　训练一　研究牛顿第二定律的演示实验

【实验目的】

1. 研究演示牛顿第二定律的几种方法，提高实验教学技能。

2. 熟悉几种常见的仪器。

【实验器材】

斜面小车(J2108 型)、电磁打点计时器(J0203 型)、纸带、钩码、小桶及砂、细线、气垫导轨、数字计数器、气源、砝码及配重块、游标卡尺、米尺等。

【仪器简介】

1. 电磁打点计时器(J0203 型)

J0203 型电磁打点计时器是一种计时仪器，它能够把物体的运动情况记录在纸带上。这种打点计时器为磁电式，仪器构造如图 4-1 所示。

电磁打点计时器的工作电压一般为交流 6～9V(参看说明书)，工作频率 50Hz。

通过接线柱接通电源后，线圈 1 相当于一个通电螺旋管，振动片 3 被磁化成为一个薄片形的条形磁钢，并受到永久磁钢 3 磁场

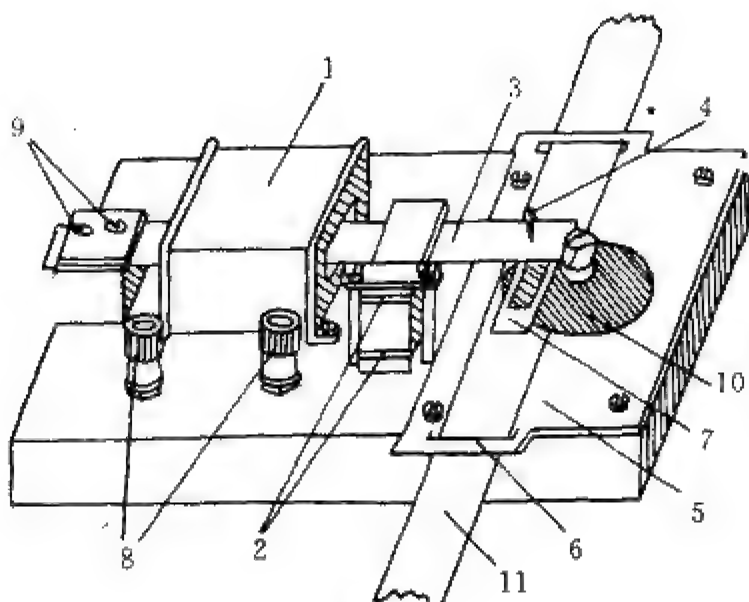


图 4-1

的作用而运动。当永久磁钢的上极片为N极，下极片为S极，振动片悬端为N极时，振动片向下运动，打点针4打击基板5，在纸带11上打下一个痕迹。如果改变线圈中的电流方向，振动片悬端的极性也就改变，并向相反方向运动，打点针4就离开基板，纸带上不会留下痕迹。当线圈通以50Hz的交流电时，振动片悬端的极性周期性地变换，振动片就上下振动。振动片频率为交流电频率50Hz，打点针周期性地打击基板，周期为0.02sec。纸带上任意两点之间的间距，就是这一运动物体在相对应的时间里通过的位移。

使用电磁打点计时器时，应先将其固定起来。演示牛顿第二定律时是与斜面小车配合起来做实验，因而一般用弓形夹按图4-2固定在斜面上。

固定时，要使纸带的中心线位于斜面和滑轮凹槽的中间的位置。

接通电源后，要观察一下打点片的振动是否均匀。如果振动不均匀，可调节打点片上的调节螺母9，直到打点均匀，声音清晰，不拖“尾巴”为止（一般电磁打点计时器出厂时已调试好了）。

使用电磁打点计时器注意以下几点：

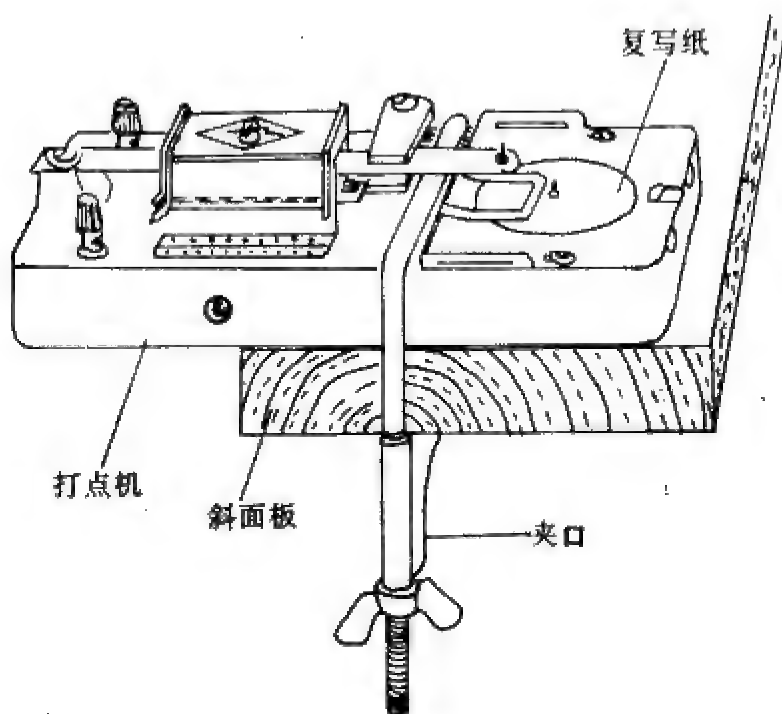


图 4-2

①只能接入规定的交流电压，切勿在高于额定电压的情况下工作，以免烧坏线圈。

②电磁打点计时器不宜在未放纸带的情况下长时间通电工作，以免损坏打点针尖与限位板 6。

2. 气垫导轨

气垫导轨是一种多用途的力学实验仪器。它通过导轨表面均匀分布的小孔喷出气流，在导轨表面与滑块之间形成一层很薄的“气膜”将滑块浮起，造成滑块在导轨上近似无摩擦运动的条件。为了使时间测量误差尽可能的小，所以采用了数字计时器来作为计时装置。

如图 4-3 所示，气垫导轨装有三只成三角形分布的支脚螺丝，用来调节气垫导轨的水平。滑块顶部有遮光板和遮光片的固定座，两端装有碰撞弹簧以及一只拉耳，用来固定谐振弹簧或连接经定滑轮悬挂的重物。配重块可通过滑块两侧的载重杆上。

使用中注意以下几点：

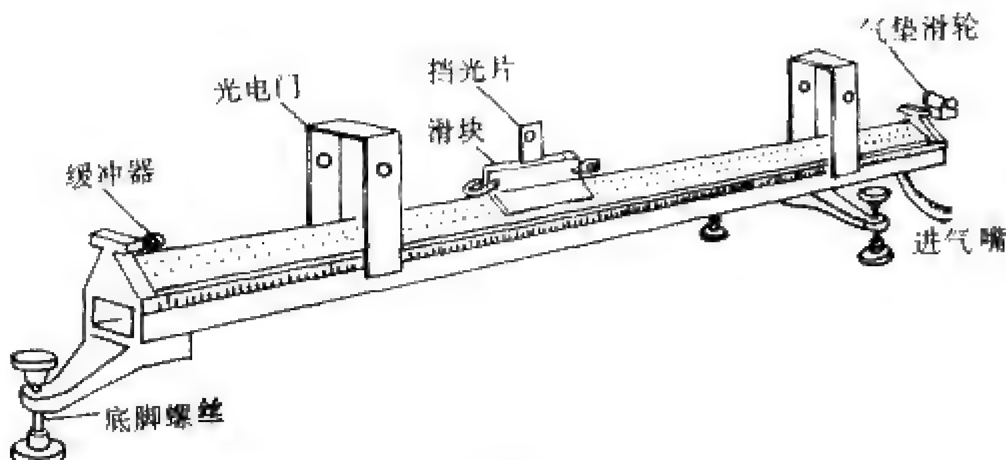


图 4-3

①实验时首先要调整导轨水平，这可由调节三个垫脚调节螺丝来达到。检查方法是在导轨通气时能处于平衡状态。

②导轨与滑块内表面要求有较高的光洁度，配合严密，因此在导轨未通气时严禁滑块在导轨上滑动，以免表面划伤和碰坏。

③保持导轨表面清洁，防止气孔堵塞。实验前用棉纱醮酒精将导轨表面和滑块内表面擦洗干净。用完后把滑块拿下，卸下垫脚，轻轻平放在水平面上，以免导轨变形。然后用塑料薄膜盖好，防止灰尘落入气孔。如发现有孔堵塞，可用细钢丝通孔，去掉尘粒或污物。

④导轨上严禁压放其它重物。

3. 数字计时器

数字计时器的种类很多，结构型号也各有差别。显示数字有二、三、四位之分。

以 J0201 型数字计时器为例，其外形如图 4-4 所示。内部结构主要由石英晶体振荡器、光电转换电路、计数显示电路、电源和光控部分等组成。

使用方法如下：

①接入电源，闭合开关，此时数码管全部显示为零。

②将光电门两个输出插头插入计时器的"输入"，将波段开关置计数档，即可光控计时。如不能计数，须进行对光调节，即把光电

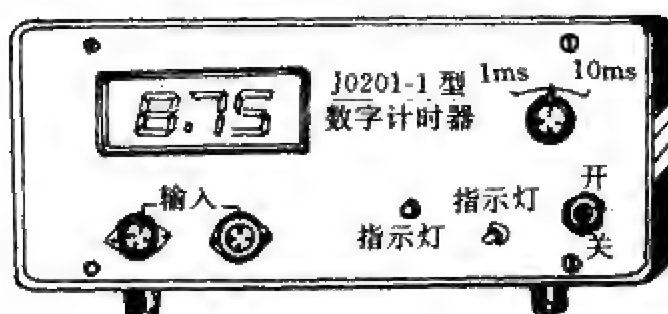


图 4-4

门螺母拧松少许移动发光管，直至光束对准光敏管为止，再把固定螺母拧紧。

③将波段开关置S档，对于任一光控门，能显示出每次遮光时间。

④将波段开关置S档，对于任一光控门，能显示两次遮光时间间隔。

⑤时机开关置“lmS”档，显示时间为(0～0.99)sec。

⑥按“复零”开关，数码管显示为零。

在使用数字计时器时注意几点：

①当“计时”时，数码管显示的是时间。但演示“光电计数”时，数码管显示的是光电管被遮挡的次数。

②使用前须先插好光电附件，才能接通电源，如果没有插光电附件又接通了电源，应立即把电源断开，隔几分钟再插上光电附件，然后开机。不要在接通电源的情况下插进光电附件，以免烧坏附件。

③仪器有开机自动置“零”，但是清除上次结果，还要按一下置“零”按钮，并且要在放开手 3 秒钟后，仪器才能恢复正常，做下一次实验。

【实验内容】

一、用斜面小车做牛顿第二定律实验

用斜面小车做牛顿第二定律的演示实验，是教材的传统方法。

这种方法仪器简单，操作方便，应该更多地进行研究。

实验装置如图 4-5 所示。

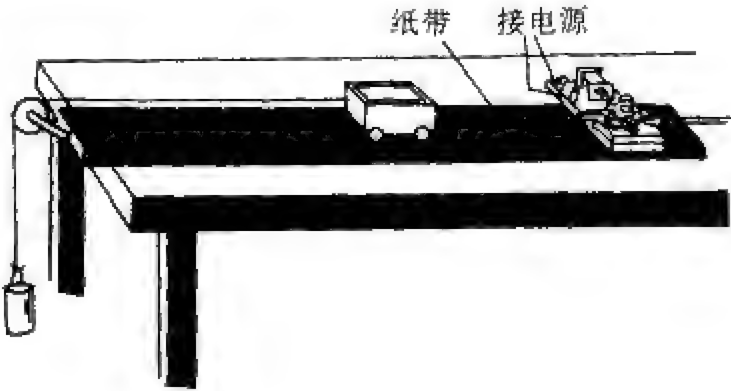


图 4-5

由于该实验是定量地研究小车运动加速度与受力大小和加速度与质量(小车、砂桶及车上砝码的质量)间的关系，故小车拖着纸带在斜面木板上运动时受到的摩擦等阻力要平衡掉，使它不影响或较小影响实验结果。这里采用将斜面木板固定打点计时器的一端，垫一块高度约为 25cm 的垫块，使斜面倾斜一定角度。在不挂砝码的情况下，调整斜面倾斜角度的大小，使小车在斜面上保持匀速直线运动的状态，这时小车所受重力在斜面上的 $mg\sin\theta$ 就与小车在运动时受到的摩擦阻力 f 平衡了。参看图 4-6。

当重力沿斜面方向的分力与摩擦阻力平衡后，就可以不必再考虑小车在运动中所受的摩擦阻力，使问题简化。下面用两种方法来进行研究。

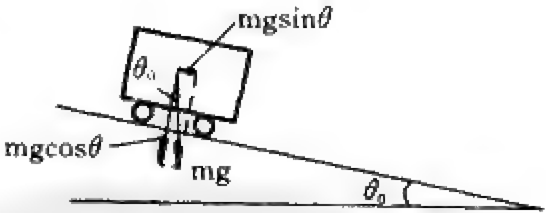


图 4-6

1. 单体法

在前面已平衡小车运动中的摩擦阻力之后，仅以小车(包括车上的砝码)作为研究对象。这里小车的质量(含车上所加砝码的质

量)为 M,小桶及砂的质量为 m。实验中尽量保证 $M>1>m$(为什么?)。当小车受到水平拉力为 mg 时,运动中的加速度为 a,则

$$mg=Ma$$

先固定小车质量 m 不变,改变小桶中砂的质量,小车所受拉力 $F=mg$ 也在改变,a 与 mg 成正比。再固定桶与砂的质量不变,在小车上增加砝码来改变小车的质量 M,同样作出的 $a\sim1/M$ 图象也可看出,a 与 $1/M$ 成正比。这种研究方法通常称为单体法。

2. 连结体法

把小车、桶(包括小车上的砝码与小桶里的砂)作为一个系统来研究。此时,细线的张力已成为系统内力而不必考虑,系统所受外力的合力是桶与砂的重力 mg,系统的总质量是小车(含砝码)质量 M 与桶(含砂)的质量 m 之和,即:

$$mg=(M+m)a。$$

保持系统总质量不变,则加速度 a 与作用在系统上的力 $F=mg$ 成正比。$a—F$ 图象是一直线,其斜率为 $1/(M+m)$。如保持作用在系统上的力 mg 不变,则加速度 a 与系统总质量 $(M+m)$ 成反比,$a\sim1/(M+m)$ 图象也是一条直线,直线的斜率为 mg,是作用在系统上的力。这种方法也称为连接体法。

这个实验的步骤如下:

(1)安装仪器

如图 4-5 将所有仪器安装好。斜面一端固定电磁打点计时器,并准备一块 2.5cm 厚的木块来垫高此端,用以平衡摩擦阻力。另外准备好物理天平来称量砂的质量。连接小桶的细线暂时不要系。

(2)平衡摩擦阻力

用木板垫高固定打点计时器的一端,观察小车拖着纸带后沿斜面向下运动的情况。若小车的速度越来越快,表明 $mg\sin\theta_0>f$,则把垫块向外拉一些,以减小 θ_0。反之,如小车的运动越来越慢,甚至停下来了,则表明 $mg\sin\theta_0<f$,垫块要向里推一点,以增大 θ_0。反复调试几次,观察小车在沿斜面向下保持匀速运动的状态为止。

这时小车拖着纸带运动时受到的摩擦阻力 f 就恰好被小车的重力沿斜面方向的分力 $Mg\sin\theta_0$ 所平衡。

此时，可以试打几条纸条，并选择纸带中间几个点进行测量，中间任意相邻两点之间的距离几乎相等时，则说明小车在做匀速直线运动。否则，还要略微调节一下垫块。每次实验都必须用手在斜面底端挡住小车，以免小车由于惯性而摔下桌子。

(3)打出用单体法研究的一组纸带

先在小车内放几个砝码，然后固定小车的质量(含砝码的质量)不变。用天平称砂，加在小桶里，使得小车所受的拉力 $F=mg$ 在改变，打出 4 条纸条，并将纸带编号，把每次的实验条件记录在每条纸带上。

再固定桶和砂的质量不变，即拉力 F 一定，改掉小车上的砝码个数，以改变了小车的质量 m，打出 4 条纸条，做好记录。

(4)打出用连体法研究的一组纸带

参看前面的连体法研究的原理，在小车上放四个以上的砝码(或用一个容器装着放在小车上)，通过细线连接一个挂钩，用来挂砝码。先固定系统质量不变，即 $M+m$ 不变。每次从车上拿一个砝码放在挂钩上，以改变小车所受的拉力。打出 4 条纸带，做好记录。

再固定挂钩上的砝码数量不变，即保持 $F=mg$ 不变。在小车上加砝码 4 次，打出 4 条纸条，做好记录。

(5)进行数据处理

求出每条纸的加速度。例如有一条纸带如图 4-7 所示，舍弃初



图 4-7

始的几个点，去掉最后的几个点，从某一点开始作为处理数据的端点。从端点开始，每隔 6 个点(不含起始点)作为一个时间单位，此时间单位为 T。设打点计时器每两个点之间时间间隔为 T_0，如图

中所示，$T=5\ T_0=5\times0.02\text{s}=0.1\text{s}$。

设小车做匀变速直线运动时初速度是 V_0，加速度是 a，在两个连续相等的时间 T 内的位移分别是 S_1 和 S_2，由于

$$S_1=v_0T+\frac{1}{2}aT^2;$$

$$S_2=v_1T+\frac{1}{2}aT^2;$$

又因为

$$v_1=v_0+aT,$$

所以

$$\Delta S=S_2-S_1=aT^2。\qquad(4\text{-}1)。$$

因为 T 是个恒量，a 也是个恒量，所以 ΔS 必然也是个恒量。

如果小车在连续相等的时间 T 里的位移分别是 $S_1,S_2,\cdots,S_n$，则

$$S_n-S_{n-2}=(S_n-S_{n-1})+(S_{n-1}+S_{n-2})=2aT^2,$$

$$\therefore a=\frac{S_n-S_{n-2}}{2T^2}。\qquad(4\text{-}2)$$

这样求出 a，共可求出$(n-2)$个(也可以少求几个)，取其算术平均值作为该纸带的加速度平均值 a。

每 4 个纸带作为一组数据，填入下面表 4-1～表 4-4。

表 4-1

实验条件：$M=$kg， $T=S$。

纸带编号	桶与砂的质量 m 单位：kg	作用力 $F=mg$ 单位：N	加速度平均值(实验值)a 单位：m/s²	加速度平均值(理论值)a 单位：m/s²	相对误差(%)
1					
2					
3					
4					

表 4-2

实验条件：$m=$kg，$F=mg=N$，$T=S$。

纸带编号	小车与砝码质量 M 单位：kg	M 的倒数 $1/M$ 单位：1/N	加速度平均值（实验值）a 单位：m/s^2	加速度平均值（理论值）a 单位：m/s^2	相对误差(%)
5					
6					
7					
8					

绘出相应的 $a \sim 1/M$ 的图象。

表 4-3

实验条件：$M+m=$kg，　$T=S$。

纸带编号	钩码质量 m 单位：kg	作用力 $F=mg$ 单位：N	加速度平均值（实验值）a 单位：m/s^2	加速度平均值（理论值）a 单位：m/s^2	相对误差(%)
9					
10					
11					
12					

表 4-4

实验条件：$m=$kg，　$F=mg=N$，　$T=S$。

纸带编号	小车质量 m 单位：kg	系统质量 $M+m$ 单位：kg	系统质量倒数 $1/(M+m)$ 单位：1/kg	加速度平均值（实验值）a 单位：m/s^2	加速度平均值（理论值）a 单位：m/s^2	相对误差(%)
13						
14						
15						
16						

绘出相应的 $a \sim 1/(M+m)$ 的图象。

(6)误差分析

注意，前面相对误差计算时，有一部分系统误差始终未考虑：

①小车在斜面木板上运动是否非常接近直线运动，还是扭动式的向前运动；

②小车的车轮、车轴及斜面端点定滑轮等都随着转动。根据理论推导，这相当于小车增加了一个 Δm 的质量。按中学实验室通常使用的 J2108 型小车的技术标准估算，其修正质量 $\Delta m \approx 14g$；

③纸带与打点计时器的摩擦阻力并非恒定，而是随着运动速度的变化而变化。因此小车实际受到的拉力应是 $F = mg - \Delta f$，其中 Δf 是非匀速直线运动所引起的修正阻力。

二、用气垫导轨做牛顿第二定律实验

将水平的气垫导轨上的滑块和砝码盘相连并挂在滑轮上，如图 4-8 所示。

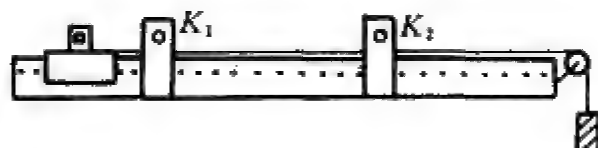


图 4-8

对于滑块、砝码盘及砝码这一系统，其所受合外力的大小等于砝码(包括砝码盘)的重力 mg 减去总摩擦阻力 f，在此实验装置中，实验中的阻力较小可以略去不计，因此滑块所受拉力 F 就近似的等于砝码(包括砝码盘)的重力 mg。系统的总质量是滑块的质量(包括滑块上的配重块质量)与砝码(包括砝码盘)的质量总和，即 $M+m$。

在导轨上相距为 S 的两处，置两光电门 K_1 和 K_2，测出此系统在砝码重力 mg 作用下通过光电门时的速度分别是 V_1 和 V_2，则系统的加速度 a 就等于

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2S}。\tag{4-3}$$

在滑块上放置一中间有方孔的挡光片，使方孔正好在光电管前通过（相当于两个挡光片的作用），用数字计数器测出滑块和挡光片在光电门中通过时，二次挡光的时间间隔 t，则可得到平均速度 d/t，d 为挡光片上孔的宽度。由于 d 很小（有的厂家生产的滑块方孔宽度是 1cm，有的是 2cm），可认为此平均速度是挡光片中点通过光电门时滑块的即时速度 V。测出挡光片通过二光电门的时间间隔 t_1 和 t_2，则得到系统的加速度

$$a = \frac{d^2}{2S}\left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2}\right)。\tag{4-4}$$

先固定滑块砝码系统的质量 $(M+m)$ 不变，改变砝码及砝码盘的质量 m，即改变了系统所受的拉力 $F=mg$，研究 $a \sim F$ 之间的关系。再固定砝码及砝码盘的质量不变，改变滑块的质量（增减配重块）m，研究滑块运动加速度 a 与系统质量倒数 $1/(M+m)$ 的关系。

实验步骤如下：

①调节光电计时系统。将数字计时器接上电源，并把两光电门与计时器连接起来。计时器波段开关置 S_1 档，时标信号选择用 1ms 档。检查二光电门，是否在挡一次光时开始计时，再挡光时停止计时。如不正常要检查光电管的照明是否充分、光电池能否灵敏地接受光信号、光电管的二导线是否接反。

②调节气垫导轨水平。首先用纱布沾少许 95%酒精擦试导轨表面。使二光电门相距(60～70)cm，距轨端大体相同。开始供气，调节底脚螺旋，使滑块能停在二光电门的中间处。其次将滑块从导轨的右端轻推一下，测量出它通过二光电门的时间 t_1 和 t_2（即挡光片上方孔通过第一个光电门和第二个光电门的时间），调节底脚螺旋使二者尽量接近；从左端也同样轻推一下滑块，也可测出 t_1' 和 t_1'，同样调节使二者尽量接近，相对差值小于 1%时，则可认为导

轨的水平已经调好。

③用游标卡尺测量挡光片上方孔的宽度 d，用米尺测出二光电门之间的距离为 S，用物理天平称量滑块（不含配重块）的质量、配重块的质量、砝码盘的质量，做好记录。

④将细尼龙线的一端系在滑块上，另一端绕过滑轮后挂一砝码盘（不一定用盘，只要设法不使外加的砝码掉出即可），另外将 10g 的小砝码放在滑块上。将滑块置于第一光电门外侧，使挡光片距 k 约 20cm 处（每次都要放在同一起始位置），松开滑块，测出通过二光电门的时间间隔 t_1 和 t_2。

重复测 6 次之后取 t_1 和 t_2 的平均值，但滑块在各次的起始位置如有变动，则不能取平均。

⑥逐次从滑块上取下 2g 砝码放到砝码盘上，重复上述测量，直至滑块上的小砝码全部移到砝码盘上为止。这里研究的是系统质量一定，$a \sim F$ 之间的关系。

⑥悬挂的砝码（砝码盘及 10g 砝码）的重量固定不变，向滑块上加配重块。每加一次则按步骤 4 测量一次，共测 5 次。这里研究的是当系统所受拉力一定，加速度 a 与系统质量倒数 $1/(M+m)$ 之间的关系。

⑦根据测量数据，自行设计表格，作出 $a \sim F$ 图象与 $a \sim 1/(M+m)$ 图象。最后进行误差分析（影响误差的因素有：导轨变形、空气阻力、定滑轮上的能量消耗、计时误差、连结体问题等）。

【参考资料】

用斜面小车做实验时，将小车、砝码视为一个系统进行研究，这虽然不是教材中的方法，但由于对于实验条件 $M \rangle\rangle m$ 并不严格要求，且在实验中可利用实验室的钩码来完成，故有许多教师仍然在教学中采用。

下面是一组用斜面小车做的牛顿第二定律实验记录，采用连结体的研究方法。实验结果填入前面的表 4-3，4-4 之中。

表 4-5

实验条件：$M+m=0.400kg$， $T=0.08S$

纸带编号	钩码质量 m 单位：kg	作用力 $F=mg$ 单位：N	加速度平均值（实验值）a 单位：m/s^2	加速度平均值（理论值）a 单位：m/s^2	相对误差（%）
9	0.050	0.49	1.17	1.23	−4.9
10	0.100	0.98	2.34	2.45	−4.5
11	0.150	1.47	3.54	3.68	−3.8
12	0.200	1.96	4.73	4.90	−3.5

固定拉力 F 不变，讨论 $a \sim 1/(M+m)$ 关系如下：

表 4-6

实验条件：$m=0.100kg$， $F=mg=0.98N$， $T=0.08S$

纸带编号	小车质量 m 单位：kg	系统质量 $M+m$ 单位：kg	系统质量倒数 $1/(M+m)$ 单位：1/kg	加速度平均值（实验值）a 单位：m/s^2	加速度平均值（理论值）a 单位：m/s^2	相对误差（%）
13	0.400	0.500	2.00	1.88	1.96	−4.1
14	0.500	0.600	1.67	1.57	1.63	−3.7
15	0.700	0.800	1.25	1.18	1.23	−4.1
16	1.000	1.100	0.91	0.858	0.891	−3.7

表中相对误差都是负值，这说明系统误差还有一部分未考虑进去。例如将前面分析的修正质量 $m \approx 14g$ 考虑进去，相对误差还会减小。

【思考题】

1. 用斜面小车做牛顿第二定律实验，为什么相对误差都是负值？在辅导学生做实验时，可以想一些什么办法使相对误差减小？

2. 用气垫导轨做牛顿第二定律实验时，如果未将导轨充分调平，会出现怎样的实验结果？

3. 可以想到一些怎样的方法来演示牛顿第二定律？

§4.2 训练二 碰撞中的动量守恒

【训练目的】

1. 研究演示动量守恒实验。

2. 探讨用不同的仪器验证动量守恒定律的方法，研究怎样指导学生实验。

【实验仪器】

自制演示动量守恒的双线摆、玩具小车、薄木板（15cm×90cm）、玻璃管数根、橡皮泥、小旗、秒表、两个质量相同的小车、青竹条一根、细线、碰撞实验器、气垫导轨、数字计时器、白纸数张、复写纸数张、砝码等。

【仪器简介】

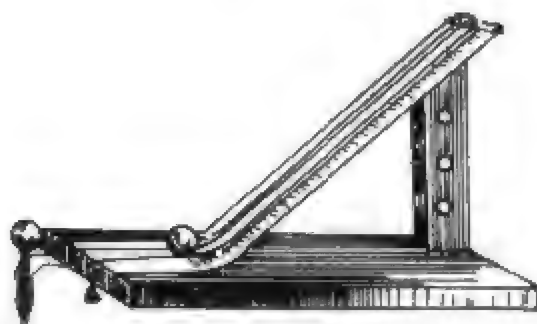


图 4-9

碰撞实验器

碰撞实验器的外形如图 4-9 所示。铝质斜槽轨道的表面有(0～30)刻度线，也叫做刻度轨道。轨道上附有游标，可沿轨道上下滑动，以确定入射球从轨道滚下的高度。轨道的下端固定在塑料或木质底座上，上端用 U 形铁片竖直地支持着。

该实验装置一般配有两个大小相同、质量相等的金属小球和一个与金属小球大小相同，质量不相等的胶木小球。在实验中以其中一个金属小球作入射球，另一个金属小球或胶木球作被碰球(或叫靶球)。悬锤板中央开有矩形槽用以调节悬锤板的前进与后退。悬锤板外端弯成钩状，在钩的下沿有小孔，是悬挂垂锤的定点。通过调节后垂锤尖落在地面白纸上的位置，就是碰撞时入射球的球

心在纸面上的竖直投影。支球螺柱顶端有一凹槽，用以放置被碰球。通过螺柱的顺时针与反时针方向的旋转，可以调节被碰球的升降。调节后用锁紧螺母把螺柱固定下来，亦即把被碰球的高度固定下来。在轨道出中的下方，有一个向上固定在底座上的可以调节松紧度的螺旋。如果把螺帽稍稍拧松，则弧形板可在它的弧形槽内以螺旋十为轴沿着弧形槽移动，它上面的螺柱也随着移动，结果放置也发生改变，从而使我们能够按照正碰或斜碰的实验要求进行实验。由于与弧形板一起套在螺旋上的悬锤板也同样以螺旋杆为轴顺着矩形槽前后移动。这样，它上面悬挂重锤线的定点离轨道未端的距离也发生相应的改变，从而能够调节锤尖在地面白纸上所指的位置。

【实验内容】

一、演示动量守恒实验

1. 最早的演示

最早公开演示碰撞中的动量守恒是1666年在英国皇家学会。表演者是英国科学家雷恩(1632～1723)，他的实验装置如图4-10所示。

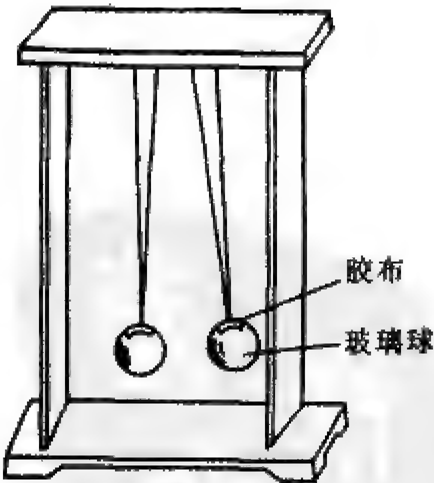


图 4-10

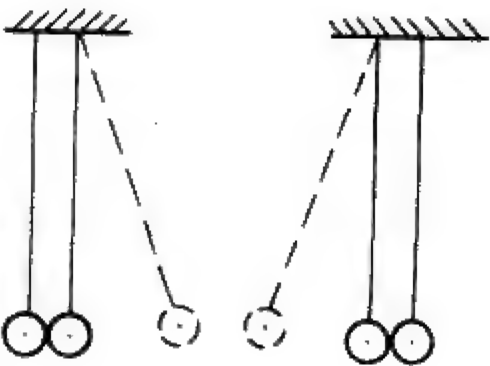


图 4-11

两个紧挨着的双线摆，摆球由两个质量相等的玻璃球制成。实

验时，先将右边一球拉开，另一球仍处于平衡位置。放下右边的球，两球相碰后，右边的球静止，而左边的球弹起；当左边的球返回碰撞后，左球又静止，右球又弹起，两球反复碰撞。如图 4-11 所示。

这个实验制作非常简单，虽不能定量的证明动量守恒，但由于现象明了、生动有趣，故依然有它的价值。

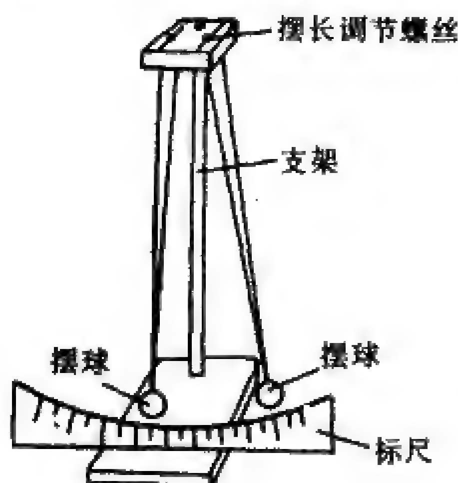


图 4-12

后来有人将此实验进行改进，设计改进后，在仪器上方可调节摆长，在仪器摆的下部，装上了一副标尺。标尺上有刻度线，通过此刻度线确定被碰球上升的高度，一般也可以粗略地定量说明碰撞中的动量守恒。如图 4-12。

注意用胶布粘线在玻璃球上时，一定不能让线拉松胶布，否则，不能保证持续的正碰。

2. 玩具小车的演示

准备一只玩具小车，用天平称出小车的质量 m。在平整的桌上放几根实验室用的玻璃管，管上放一块长薄木板(事先称量出木板的质量 m)。在木板旁边在橡皮泥上插几只小旗作为标记，标定木板的起始位置与小车的起始位置(例如小车起始位置为 a，木板起始位置为 b)，然后按图 4-13 安装起来。

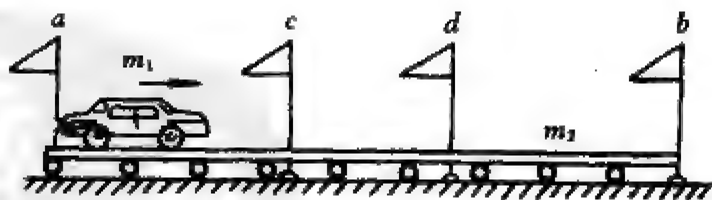


图 4-13

使汽车发动，当汽车在木板上向右运动时，木板也向左运动，用秒表记录它们运动的时间。当小车运动一段时间到了 c 点，停止

观察、记录下小车运动位移(假设木板的端点也到了 d 点)。量度 ac 间距离 S_1 与 bd 间的距离 S_2。

反复如此测量多次。

将记录代入式 $m_1\frac{S_1}{t_1}$ 与 $m_2\frac{S_2}{t_2}$,比较它们的量值,看是否

$$m_1\frac{S_1}{t_1}=-m_2\frac{S_2}{t_2}$$

式中负号说明二者运动方向相反。

3. 用小车来演示

用两个质量差不多相等的小车,小车的质量为 m。找一片青竹条用细线做成弓形,在平整的桌面中间找一点 O,以 O 点为中心,记下两个小车的起始位置,安装如图 4-14 所示。

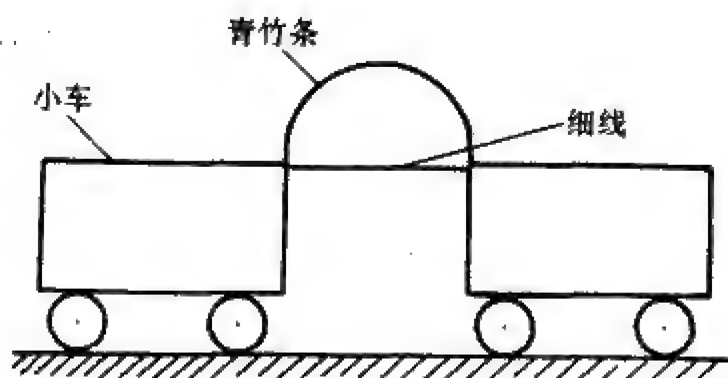


图 4-14

用火柴烧断细线,青竹条将把两只小车弹开,两小车立即向相反方向运动。测出它们各自运动时间,量度它们的位移,验证是否

$$mV_1=-mV_2$$

二、用碰撞实验器做动量守恒实验

把碰撞实验器固定在实验桌的边上,如图 4-15 所示。

实验原理是:让一个质量为 m_1 的小球从斜槽上滚下,与放在斜槽末端支球螺柱上的小球 m_2 发生正碰。若碰撞前,m_1 的速度是 V_1,碰撞前系统总动量就是 m_1V_1,碰撞后,入射小球的速度变成了

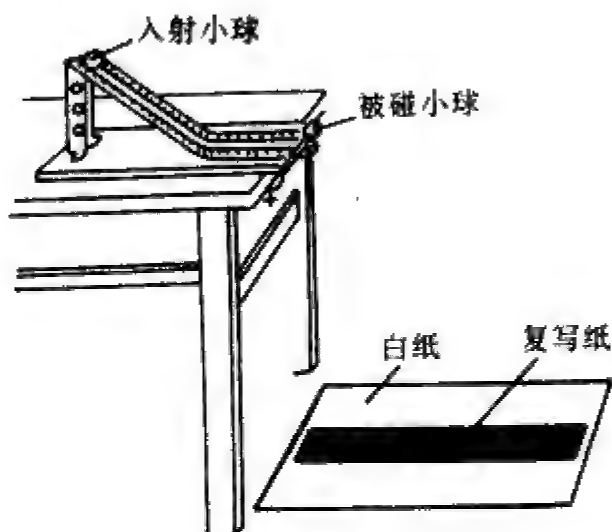


图 4-15

V_1'，原来静止的被碰小球碰后速度为 V_2'，碰撞后两个小球的总动量是 $m_1V_1'+m_2V_2'$。根据动量守恒定律，应该有：

$$m_1v_1' = m_1v_1' + m_2v_2' \qquad (4\text{-}5)$$

如果我们测出两小球的质量，与碰撞前后的速度 V_1、V_1'、V_2' 代入式，可验证动量守恒定律。

实验步骤如下：

①先调节底座水平：将小球放在底座上面的任意位置，直至钢球不滚动为止。然后在实验台前面的地面上，平铺一张白纸，白纸的长边与钢球运动方向平行（尽量使白纸沿此方向的对折中心线对准斜槽的中线。再旋松悬锤板下端的螺旋，抽出悬锤板，栓上重锤，让锤尖距地面(3～5)mm，调节白纸位置，使锤尖指向白纸的对折中心线，并用铅笔记下锤尖的位置 O，用白纸压住白纸的四个角。

②用天平测出两个小球的质量 m_1 和 m_2，然后把被碰小球放在支球螺柱上，调节实验装置，使两小球相碰时处于同一高度。试碰两次，在钢球落点位置上盖上复写纸，以便记下小球落地的痕迹。

③测量碰撞前后系统总动量。取下被碰小球，让入射小球从斜

槽上某一高处落下，重复10次。用尽可能小的圆把所有的小球落点圈在里面，圆心 P 就是小球落点的平均位置。

④测量碰撞后各小球动量。把被碰小球放在支球螺柱上，让入射小球从原来的高度滚下，使它们发生碰撞。重复实验10次。用同样的方法标出碰撞后入射小球的落点平均位置 M 和被碰小球的落点的平均位置 N，如图4-16。量度 OM、OP、$O'N$ 的长度。

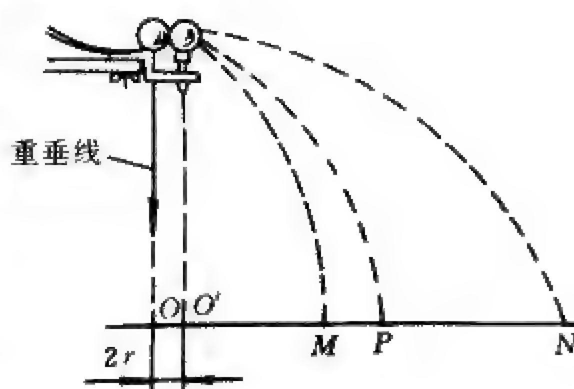


图 4-16

⑤数据处理

过 O、N 在纸上作一直线，由于支球螺柱和斜槽末端点的距离是 $2r$（r 是小球半径），在直线 ON 上取 $OO'=2r$，O' 点就是碰撞时被碰小球的球心在纸上的垂直投影。因此，线段 $O'N$ 就是被碰小球飞出的水平距离。根据平抛运动的规律，小球从同一高度下落的时间均相等。所以，测出被碰小球飞出的水平距离在数值上等于被碰小球碰撞后的速度 V_2'。由于入射小球是在斜槽末端上开始飞出或与被碰小球发生碰撞的，所以线段 OP 是入射小球是没有发生碰撞时飞出的水平距离，它在数值上等于入射小球到达斜槽末端的水平速度 v_1。而线段 OM 是入射小球碰撞后飞出的水平距离，它在数值上等于入射小球碰撞后的速度 v_1'。

将 OM、OP、ON 的长度以及两小球的质量代入前面的公式，验证动量守恒定律。

实验中注意以下几点：

①由于实验重复次数多，所以在实验中，仪器、实验台、作图纸的相对位置要给终保持不变，一旦发生移动则实验必须重做。

②在实验过程中要注意观察，入射钢球绝对不能与支球螺柱发生碰撞或摩擦，否则无法得出正确结论。

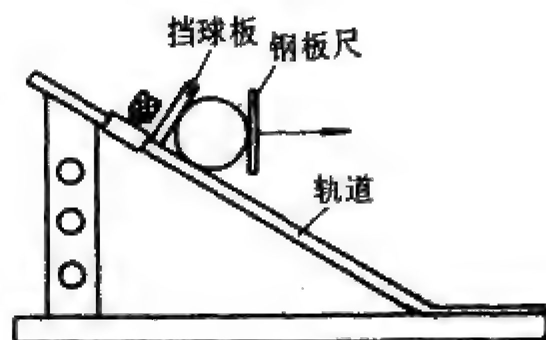


图 4-17

③球落点的集中程度主要取决于挡球板的牢固程度与释放球的动作。用钢板尺从水平方向把球挡在球板处，然后沿水平方向迅速移开钢板尺，使球自由滚下，这样容易实现没有附加初速度及初转速的释放。实践证明，这是一种较好的释球方法，只要稍加练习，便可使球的落点集中在直径 1cm 的圆以内。如图 4-17。

三、用气垫导轨研究碰撞中的动量守恒

1. 研究弹性碰撞时的动量守恒

由于气垫导轨上滑块的运动中，摩擦阻力可以忽略不计，因此用它来做碰撞中的动量守恒实验很方便。操作步骤如下：

①先将气垫导轨和数字计时器按训练一的方法调试好（气源也要接好）。

②取两个质量相等的滑块 m_1 和 m_2，在其相碰端装有弹性极佳的缓冲弹簧，试碰几次。然后将其中一个滑块（例如 m_2）静止地放在两光电门之间，即 $V_2=0$。弹射 m_1 与 m_2 相碰，相碰后 m_1 静止，m_2 运动。通过计时器可以把碰撞前 m_1、碰撞后 m_2 挡光片分别通过光电门的时间读下来。如图 4-18 所示。

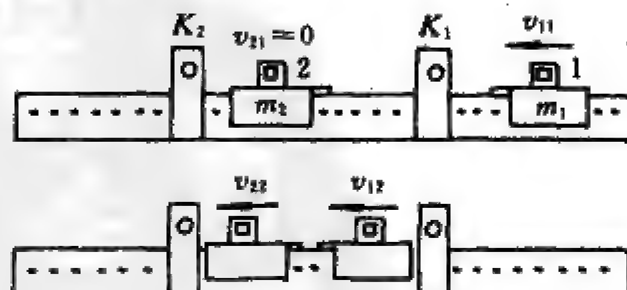


图 4-18

由遮光片上光孔的宽度与计时器上时间的读数，可以确定碰撞前 m_1 的速度 V_1 与 m_2 碰撞后的速度 V_2。反复测五次。

③改变两个滑块的质量，使 m_1 不等于 m_2，令 $V_2=0$，重复上述实验，记下滑块 m_1 经光电门 K_1、K_2(或往返经过 K_1)的时间和滑块 m_2 经过光电门 K_2 的时间，从挡光片方孔宽度和挡光时间，可求出 V_1、V_1' 和 V_2'。然后验证

$$m_1V_1=m_1V_1'+m_2V_2'$$

因为高中教材中不做非弹性碰撞实验，因此这里的训练仅研究弹性碰撞。

【思考题】

1. 在用碰撞实验器做动量守恒实验时，如果入射小球与被碰小球在碰撞的一瞬间并未处于同一水平高度，对实验有什么影响？怎样确保两小球碰撞时在同一高度？

2. 如果用气垫导轨做碰撞中的动量守恒实验时，发现系统在碰撞后的总动量总是小于碰撞前的总动量，这是什么原因？能否出现碰撞后的动量大于碰撞前的动量？

§4.3 训练三 研究静电学演示实验

【训练目的】

1. 究静电实验成败的关键。

2. 掌握静电学几个演示实验的操作方法。

3. 分析韦氏感应起电的原理，掌握使用操作规则。

【实验器材】

韦氏感应起电机、范德格拉夫感应起电机、指针验电器、箔片验电器、有机玻璃棒、橡胶棒、丝绸、毛皮、塑料唱片、起电板、有机玻璃板、塑料板、自制冰桶、尖形导体、验电球、金属网罩、自制尖端放电教具、金属平板、自制静电除烟、静电植绒教具。

【仪器简介】

1. 韦氏感应起电机

韦氏感应起电机的结构如图 4-19 所示。主要部分有：

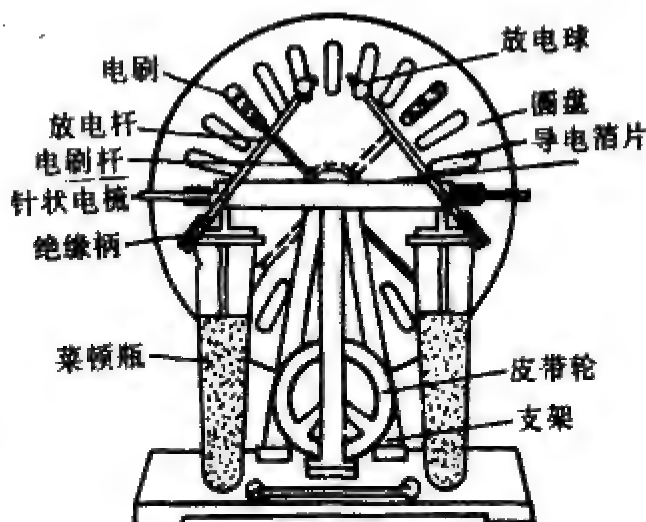


图 4-19

①前后绝缘转盘：盘上贴有许多导电铝箔片，工作时前盘沿顺时针方向转动，后盘沿逆时针方向转动(相对于操作者而言)。

②导电刷：连接在固定于转轴的电刷杆的两端，分别与前后盘软性接触，两杆互成 90°且与水平线的夹角为 45°。圆盘转动时，电刷依次将中心对称的两张箔片接通。

③集电梳：呈针状，位于圆盘水平直径左右两端，其尖端与盘面相对。

④莱顿瓶：实际上就是两只电容器，其内壁电极分别与左右电梳相连，外壁电极通过底板上的导电连杆彼此相通。

⑤放电杆与放电球：与电梳和莱顿瓶的内壁电极相连。

使用感应起电机须知：

①摇转起电机时，必须顺时针方向摇，如果逆转将不能起电。

②摇转起电机时，速度要由慢至快，转速不可太高，否则会影响电刷和箔片的接触，反而不能起电。

③转动圆盘后，须注意放电球的极性，略微分开两个放电球，慢慢转动手柄，则带负电的放电球上出现微弱的紫色光，带正电的放电球上出现分叉的小火花。

④如果用起电机使其它静电器带电，可以用导线金属夹或验电器电杆把静电仪器和放电杆连接起来。

⑤调节放电球的距离时，只能操作绝缘柄。如果停止起电实验时，必须先将放电杆直接接触，放电后才能触摸各种部件。

⑥每次起电前须对起电机做好清洁干燥处理，否则，可能影响起电效果。

2. 范德格拉夫感应起电机

范德格拉夫起电机是一种新型起电机，大型的范德格拉夫起电机能产生 10V 以上的高电压，是研究原子瓜时用来加速带电粒子的重要设备之一。

一般情况下，空腔导体上的电荷只分布在外表面上。利用这个性质，如果不断地将电荷传给空腔导体，能使空腔导体获得很高的电势。参看图 4-20，这是一个范德格拉夫电子静电起电机的原理示意图。A 是空心金属球壳，由绝缘 B 支撑。绝缘柱内有套在两个滑轮 D 和 D 上的传送带 C(由绝缘物制成)，下面的滑轮机由电动机 M 拖动，使传送带不停地运转。放电针 E 和刮电针 F 是正对着绝缘传送带的一排尖齿的金属针。放电针 E 与(5～10)×10^4V 的高压直流电源 H 的负极相接，H 的正极接地，由于放电针 E 的尖端放电，使传送带上带有负电荷。当负电荷随传送带移到刮电针 F 附近时，负电荷就通过 F 而传送到金属球 A 的个表面上。随着传送带不停地运转，球上的负电荷就越来越多，负电势也越来越大。图 4-21 是范德格拉夫质子静电起电机原理示意图，用来加速带正电子的粒子，工作原理与电子静电起电机相似。

【实验内容】

静电实验有两个特点：第一是电压高，可以达数千伏乃至数万伏。因而通常情况下的绝缘体，如木头、玻璃、橡胶、胶木棒等都会

失去绝缘性能，故电荷极易流失；第二是电量少，一经漏电很快就会漏完。因此，做好静电实验的关键在于解决绝缘问题。

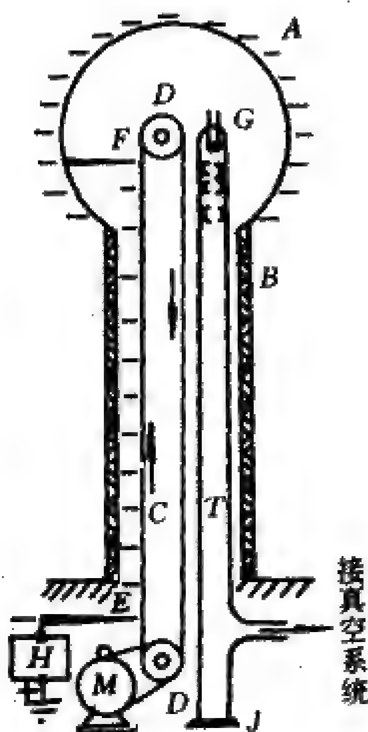


图 4-20

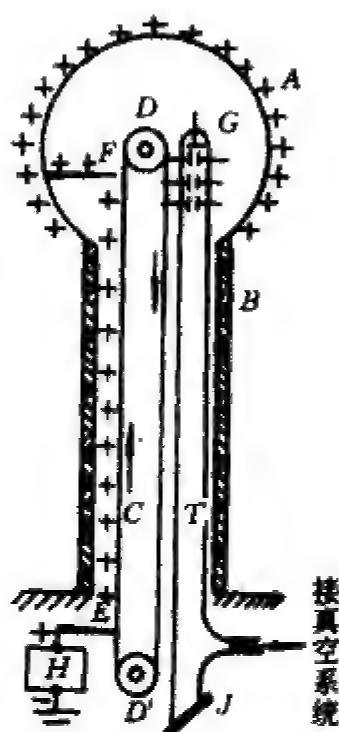


图 4-21

一、电荷守恒实验

电荷守恒是说明电子论的一个重要实验。在有条件的学校，一般都有专门的法拉第圆桶（又叫冰桶），该圆桶可以装在箔片验电器或指针验电器上使用。即使条件差的农村中学，也可以自制教具来做这种实验。

例如，自制一个玻璃瓶箔片验电器和用于摩擦起电的有机玻璃板、塑料板，如图 4-22 所示。

摩擦起电板用(2～3)mm 厚的有机玻璃板和聚丙烯(或乙烯)塑料板制成长 20mm、宽 15mm 左右的两块长方形小板，再用树脂胶将两块小板分别粘在两根长 120mm 左右的细有机玻璃棒的一

端，另一端当作柄。

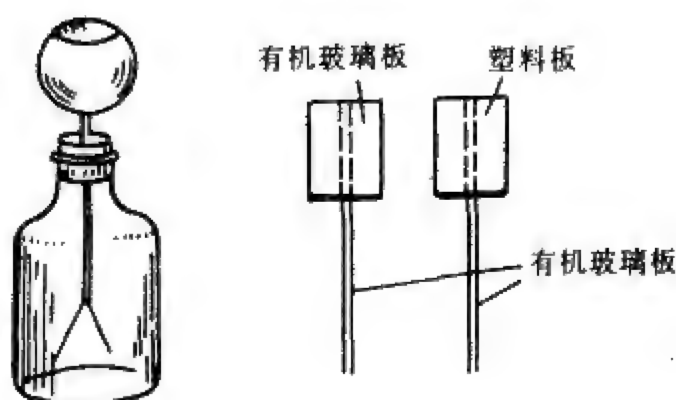


图 4-22

玻璃瓶箔片验电器各部分如图所示，上端的法拉第圆桶可用开口空心金属球制作，也可以用金属铝片做成一个扁形的矩形铁盒(一端不封闭)来代替。

先用干燥的无油渍的布把两块起电板擦干净，再放在酒精灯火焰的上方略微烘烤一下(以消除板上的残存电荷)。

按下列步骤演示：

①先将未经摩擦的两块起电板分别插入空心导体中，验电器指针不偏转。两块合起来一起放入，指针也不偏转，说明两块板都不带电。

②用两手分别握持起电板的柄，用力将两块板迅速摩擦几下(分离时要快一点)以后，将其中任意一块放入空心圆筒中(不要碰筒壁)，验电器的金属箔片均可张开一定角度，如图4-23(甲)所示。

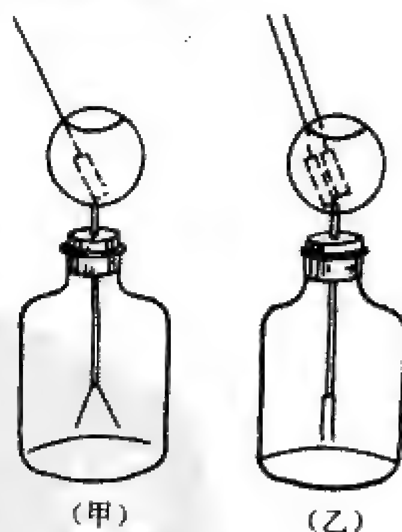


图 4-23

如果将板从球内抽出后，箔片就立即闭合。这说明各板都带有电荷，箔片张开是静电感应现象。

③当把两板同时放入空心金属筒内时，验电器仍闭合。但抽出任意一块板时，箔片均张开。将抽出的板重新放入空筒内与另一块板重合时，箔片再次闭合，如图4-23(乙)所示。

这说明两板带有的电荷是等量异性的。

这里再介绍一种自制的验电器，如图 4-24 所示。

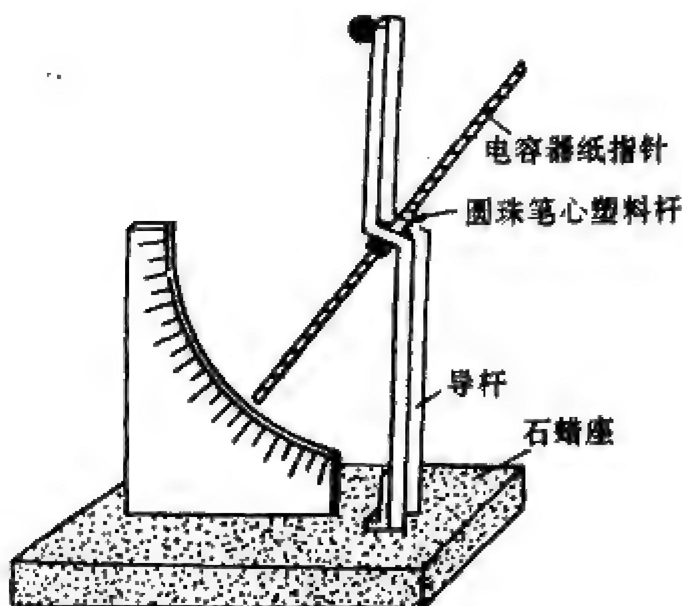


图 4-24

用石蜡块(15cm×6cm×3cm)作底座，用(1～2)mm 厚的铁皮制作导杆，用很薄的电容器板间绝缘纸卷在细竹针上贴成管状抽出，再分两段插在一小段圆珠笔芯的两头，用小针在笔芯正中钻一小孔，作为验电器的指针，然后用一根漆包线(或钢丝)作轴，把指针装在导杆的固定孔内，就做成了自制验电器。

用薄铁皮做成一个扁形矩形桶作为冰桶，用一张小塑料唱片和一个带绝缘柄的同样尺寸的圆木板作为互相摩擦起电的物体。按照图 4-25 所示。

重复前面的操作步骤。

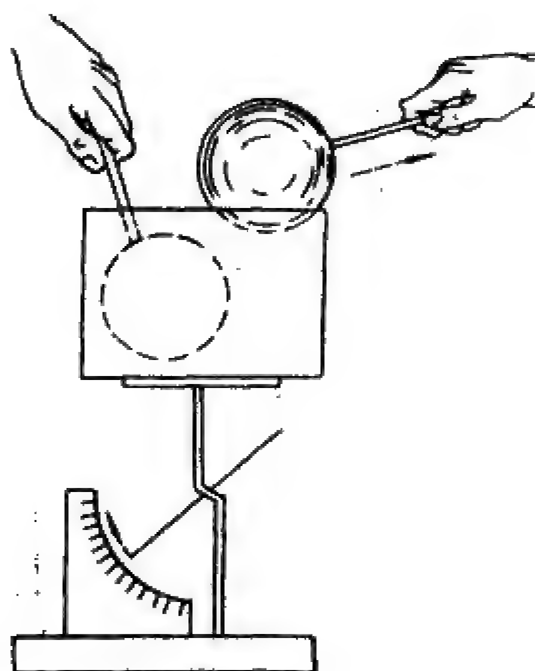


图 4-25

二、电场中的导体

静电平衡时，净电荷只分布在导体的外表面上。

1. 方法一

①经摩擦起电的有机玻璃棒或橡胶棒，在尖形导体上来回转动着摩擦导体带电。反复做几次，使尖形导体积累较多电荷。

②用手摸一摸验电球，使验电球残余电荷消失，然后接触指针验电器，验电器的指针一动不动，说明验电球不带电。

③用验电球接触尖形导体之后，再与验电器接触，验电器的指针偏转，这表明尖形导体的外表面带电。参看图 4-26(甲)所示。

④用手摸一摸验电器与验电球，去掉二者的电荷。

⑤用验电球接触尖形导体凹进去的圆锥表面，再与验电器接触，验电器指针不偏转，如图 4-26(乙)。

这表明尖形导体的内表面上没有电荷。

由此可见，静电平衡时，净电荷只分布在导体的外表面上。

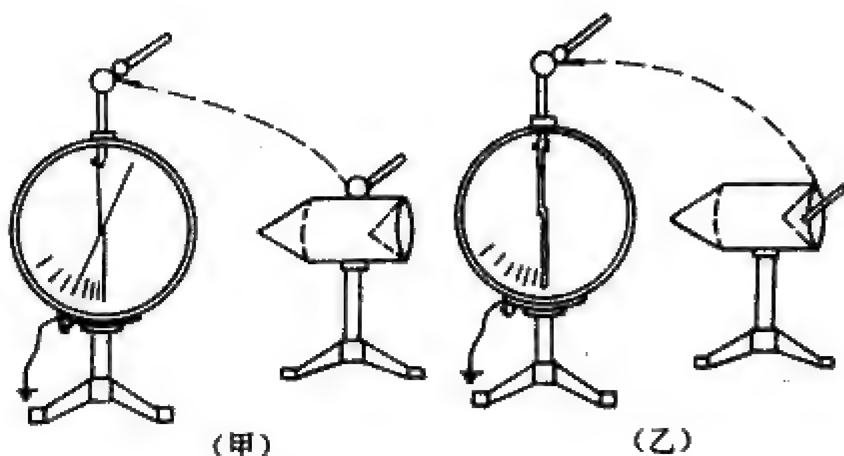
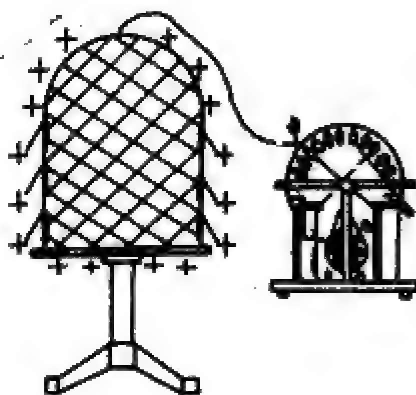


图 4-26

2. 方法二

在金属网罩的内表面与外表面各贴箔片，如图 4-27 所示与感应起电机连接。


图 4-27

摇动感应起电机，使金属网罩带电。可以看见罩外壁的箔片都张开了，而罩内壁的箔片依然下垂。经过比较，也可知道净电荷分布在导体的外表面上。

3. 静面屏蔽

安忠、刘炳昇所编的《中学物理实验教学研究》上，介绍了这样一个有趣的静电屏蔽实验：把一只小鸟装在金属网罩内，再把石蜡放在石蜡绝缘座地。在金属网内外各装验电羽，然后把感应起电机的一个放电极与金属网罩连在一起，使另一个放电板靠近金属网。当摇动感应起电机时，可以察觉到放电极与金属网之间发生火花与声响，网外的验电羽张开，而网内的验电羽却纹丝不动。小鸟并未被高压电击，仍在网内自由自在的活动。如图 4-28 所示。

法拉第曾经做过一只巨大的金属网，把自己关在内。任凭金属网罩(接一极)与外电极之间火花四溅，他在罩内谈笑自若。这都说明带电导体内部没有电场存在。

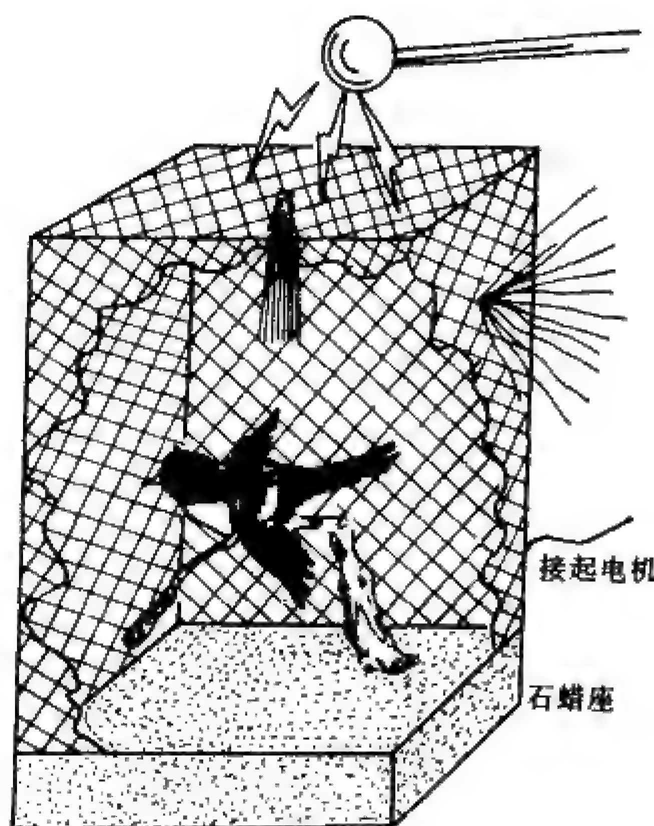


图 4-28

静电屏蔽实验可以这样做：找一只灵敏的指针验电器，外壳接地。用一只经摩擦起电后的橡胶棒靠近验电器的上端。由于静电感应，验电器的指针将张开，如图 4-29（甲）所示。

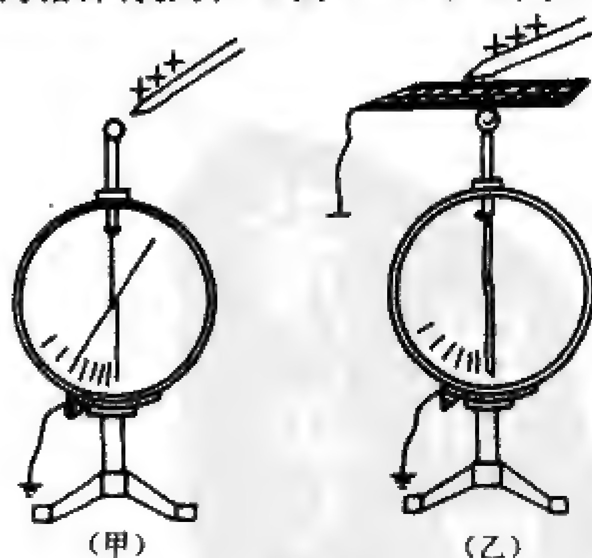


图 4-29

但是，手握金属网，将它插进橡胶棒与验电器之间，验电器的指针将闭合，如图 4-29(乙)所示。

将金属网拿开，验电器指针重新又张开。这说明金属网在这里屏蔽了橡胶棒的静电场。

三、演示尖端放电

本书第八章§8.3中教具制作"奔马"，就是很好的演示尖端放电的教具。

尖端放电现象还可以演示"电风吹烛"如图 4-30 所示。

这是因为当针尖端形成强电场时，使尖端周围的空气分子发生电离，因此产生大量的离子，反过来又受到尖端附近离子的作用(同性相斥、异性相吸)而形成"电风"。同样的道理，它又可以使纸风车旋转起来，参看图 4-31 所示。

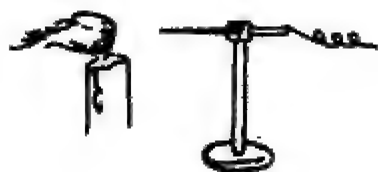


图 4-30

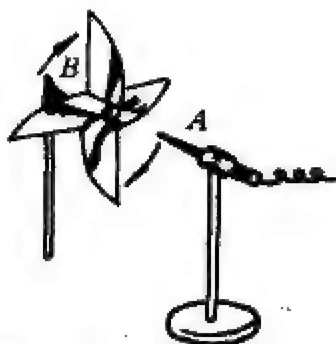


图 4-31

四、平行板电容器的电容

把一块金属板和静电计金属杆相连，可以演示平行板电容器与哪一些因素有关。

如图 4-32 所示。

先给静电计充电，静电计的指针将会偏转一个角度，手持另一金属板的绝缘柄，将两板逐渐靠近(不能相碰)，可以看到静电计指针张开的角度随两板间距离减少而变小。反之，指针偏转角增大。

由此可说明平行板电容器的电容量和板间距离有关，距离越小电容量越大。

如图 4-33 所示。

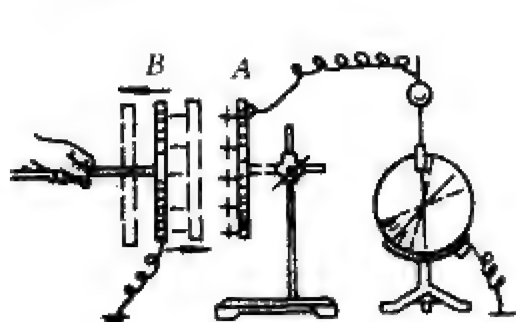


图 4-32

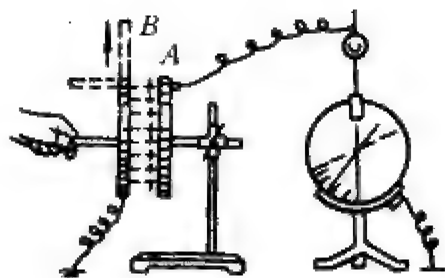


图 4-33

在前面实验基础上，保持两金属板距离不变，把其中一块板上下移动，以改变两板相对面积。这时会发现静电计指针张开的角度随着两板相对面积的减少而增大。由此说明平行电容器的电容量随相对面积的增大而增大。

如图 4-34 所示。

保持两金属板距离和相对面积不变，在两板间插入或抽出玻璃板，可看到静电计指针偏转角度随着玻璃板的插入或抽出而减少或增大。如果插入其它电介质(如有机玻璃、唱片等)时也有同样情况。但插入的介质不同，指针偏转角度变化也不同。由此说明平行板电容器的电容量跟两板间的电介质有关。

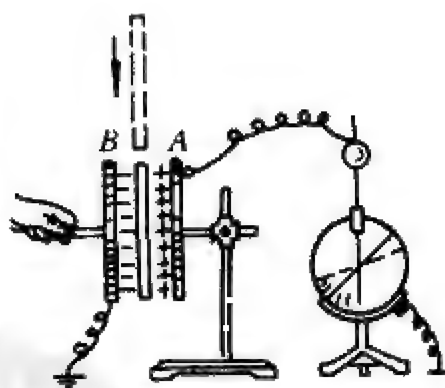


图 4-34

注意实验中插入电介质之前，应先用手摸一下电介质表面以消除残存电荷。

五、演示静电的应用

1. 静电除烟

参看本书第七章§7.3“静电除烟”。

2. 静电植绒

参看本书第七章§7.3“静电植绒”。

【思考题】

1. 做电荷守恒的冰桶的大小对实验有无影响？为什么？应该怎样自制冰桶？

2. 除了这个训练内容中使尖形导体带电的方法，你还有哪几种方法可以使尖形导体带电？试一试，总结出最好的方法。

3. 为了消除电介质上的剩余电荷，常常把电介质拿到火上烘烤一下。试阐述其中原因。

§4.4 训练四 电流表的改装与测电池电动势和内阻的实验

【训练目的】

1. 分析测量表头内阻的系统误差及研究几种测量方法。

2. 掌握用电流表与电压表测电池电动势和内阻的实验方法。

3. 研究这两个学生实验的教学，探索培养学生运用物理原理解决生产技术问题的能力。

【实验仪器】

J0409 灵敏电流计两个、滑动变阻器(10Ω，2A)两个、(50Ω，1.5A)1个、J1202型学生电源一个、筒式电阻箱两个、J0407型直流安培计一个、J0408型直流伏特计一个、1号电池一个、单刀开关两个、导线若干。

【实验内容】

一、把电流表改装成伏特表

实验室现在使用的电流表，表头结构都是磁电式的。这种磁电式电流表是利用指针偏转的角度跟电流强度成正比($\theta=kI$)的关

系而设计制作的。它在测量电路中电流强度时灵敏度比较高。

对于测量的电表而言，指针偏转最大刻度时称为满偏，这时通过电表的电流 I_g 称为满偏电流。满偏时电表两端的压降 U_g 称为满偏电压或表头压降，满偏电流相同的电表，由于内电阻 R_g 不同，表头压降 U_g 也不相同，满偏电流压 Ug，及内电阻 R_g，表头压降 U_g 是电表的三个主要参数，它们之间的关系为 $I_g=U_g/R_g$，或 $U_g=I_gR_g$。

电流表在使用时是串联在电路中的，为减少对被测电路的影响，表头压降都比较小，一般只有几十毫伏和几百毫伏。所以不能直接用电流表来测量较大的电压。否则，通过电流表的电流将超过满偏电流而将电流表烧毁。如果给电流表串联一只分压电阻，就可以测量较大的电压了。

如图 4-35。假定电流表的表头压降为 U_g，串联了分压电阻 R 之后，量程为 U。此时电流表本身的压降仍为 U_g，分压电阻 R 上的压降 $U_R=U-U_g$。根据串联电路中电压与电阻成正比的关系，得到

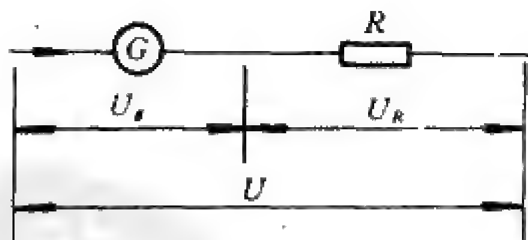


图 4-35

$$\frac{U_R}{R}=\frac{U_g}{R_g}。$$

所以

$$R=\frac{U_R\cdot R_g}{U_g}=\frac{(U-U_g)R_g}{U_g}=(\frac{U}{U_g}-1)R_g。$$

把 $U_g=I_gR_g$ 代入上式，则

$$R = (\frac{U}{I_g R_g} - 1) \cdot R_g = \frac{U}{I_g} - R_g。 \qquad (4\text{-}6)$$

满偏电流可从电流表的刻度盘上直接读出。若测出电流的内阻 R_g，就可计算出改装成量程为 U 伏的电压表时需串联多大的分压电阻 R，电流表头和分压电阻 R 串联在一起作为一个"新"表头，它就是一只电压表了。

1. 替代法

(1)按图 4-36 所示线路接好电路线路中 G 为待测电流表，G_0 为辅导测量电流表 R 为电阻箱，R_0 为滑线变阻器。

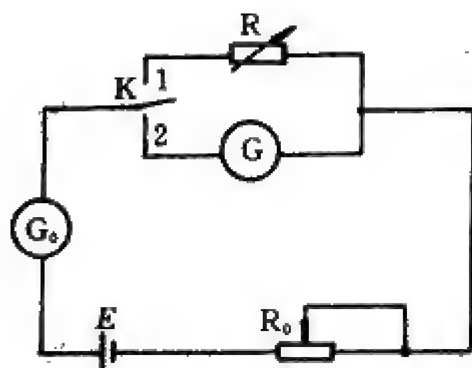


图 4-36

(2)首先使 R_0 取最大值，然后使开关 K 接通"2"，调节 R_0，使 G_0 指示某一适当数值 I_0(一般可使 I_0 为接近满刻度的某一整数值)。

(3)将开关 K 换接"1"，调节电阻箱 R，使电表 G_0 仍指向原来数值 I_0。由电路的等效性可知，此时电阻箱的电阻值 R 既为待测电流表 G 的内电阻 R_g。

(4)根据式(4-6)，分别计算出将电流表必装成 3V、15V 的电压表所需要串联分压电阻 R 值，自行设计校验电器，检查经改装后的电压表示数是否正确？有多大误差？

用已知量代替测量，使事物的状态不发生改变，就可以认为待测量与已知量等同，这就是替代法的含义。实验中常常用这种方法来消除某些系统误差的影响，但并不能消除偶然误差的影响。为了减小偶然误差，应当注意选择合适的实验条件，以提高实验的灵敏度。这里对本实验的误差作一定性的分析。

参看图 4-36，当 K 倒向"2"时，通过辅助测量电流表的电流为：

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_0 + r_0 + R_g}$$

这里，R_g 为待测表头内阻，r_0 为辅助测量电流表的内阻。

当 K 倒向"1"时，通过辅助测量电流表的电流为

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_0 + r_0 + R}。$$

我们要求：$I_1 = I_2$，因此当 ε、R_0、r_0 均保持不变时，就有 $R_g = R$，在 ε、R_0、r_0 这三个量中，$R_0 > r_0$，如果 R_0 太大，即 R_g（或 R）有一点差异，从表上反映出的 I_1（或 I_2）变化很小。因此，R_0 不应太大，应尽可能小一些，使得 R_g 变化反映在辅助表头 G_0 上的电流就大一些，可以减少实验误差。

另外，ε 不应太大。应该尽量使 G 指针偏转到满刻度。

2. 半偏法

中学物理教材中采用图 4-37 所示电路测量电流表的内阻，图中 R 用电位器，R′用电阻箱。合上开关 S_1，调整 R 的阻值使电流表指针偏转到满刻度。再合上开关 S_2，调整 R′的阻值，使电流表指针偏转到正好是满刻度的一半。当 R 比 R′大很多时，可以认为 $r_g = R'$。这样就测出了表头内阻 R_g。由于此种方法是 S_2、R′回路分流，使得 G 偏转由满偏转到半偏转，故这种方法也叫做半偏法。

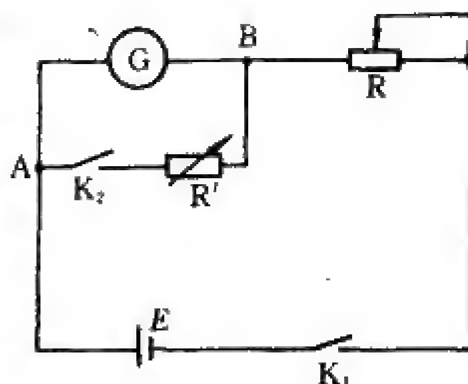


图 4-37

但是，这个实验中调得 G 满刻偏转时，R 已经确定下来，不能再调动它。即使 K_2 闭合之后，回路中总电阻发生了变化，流经 R 的电流发生改变，R 也不能再调动。

分析一下：K_1 闭合、K_2 断开时，若 G 满刻度偏转，回路中总电阻

$$R_{总1} = R + r_0 + R_g。\tag{4-7}$$

这里 r_0 是电池内阻，R_g 为电流表头内阻，R 为 G 满刻度偏转时的滑线变阻器阻值。

如果 K_1、K_2 均闭合，R 不再改变，调节 R′使得 G 半偏，AB 端的电阻已经变成了 $\frac{1}{2}R_g$，回路中总电阻

$$R_{总2} = R + r_0 + \frac{1}{2}R_g。\tag{4-8}$$

显然，$R_{总1} \neq R_{总2}$，当电路中电源电动势不变时，回路中两次流经 R 的电流强度发生了变化，因此实验的系统误差增大。

为了使系统误差尽量减小，有两种方案值得考虑。

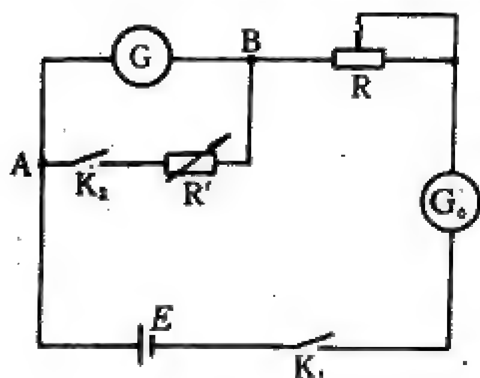


图 4-38

第一种方案：在图 4-37 实验装置中增加一个辅助测量电表 G_0，如图 4-38 所示。当 G 满刻度偏转时，G_0 可能也满刻度偏转。倘若 G_0 没有满刻度偏转也不要紧，记住 G_0 此时的读数，在 K_2 闭合后，初步调节 R′使得 G 指针偏转到满刻度的一半时，G_2 读数可能已经发生变化，调节 R 使得 G_0 与 K_2 闭合前读数相同。重新细调 R′，使 G 准确半偏，这种方法可以保证在回路中总电阻发生变化时，流经 R 的电流强度不变。

第二种方案：尽量保证 $R \gg R'$，这就需要增大电源电动势，同时来增大 R，保证 G 满刻度偏转。当 $R \gg R'$ 时，即 $R \gg R_g$，根据式 4-7，回路中总电阻主要取决于 R，当 AB 端电阻变成 $\frac{R_g}{2}$ 时，对回路中总电阻影响极小，因而回路中流经 R 的电流强度也近似不变。

按照这两种方案，各设计一套实验步骤，最后经过校验，讨论这两种实验方案。

二、测电池电动势和内阻的实验

根据闭合电路欧姆定律有

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \tag{4-9}$$

或

$$\varepsilon = IR + Ir$$

IR 为路端电压 U，Ir 为内电路上电势降落。上式又可以写成

$$U = \varepsilon - Ir \tag{4-10}$$

电池的电动势 ε 及内阻 r 是不随外电路中负载电阻的变化而变化的。因此，当外负载电阻 R 增大时，电路中的电流强度减小，内电路上的电势降落减小，路端电压增大。若外负载电阻 R 分别调节在 R_1，R_2，用电流表和电压表测出相应电路中的电流强度 I_1，I_2 及路端电压 U_1，U_2 就可列出两个表达式：

$$U_1 = \varepsilon - I_1 r;$$

$$U_2 = \varepsilon - I_2 r。$$

解此方程组，可算出电池内阻及电动势：

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}; \tag{4-11}$$

$$\varepsilon = U_1 + \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \cdot I_1; \tag{4-12}$$

或

$$\varepsilon = U_2 + \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \cdot I_2。 \tag{4-13}$$

电池的内阻和电动势还可用图象法求得。$U = \varepsilon - Ir$ 是一个斜截式直线方程。改变外负载电阻 R，测出 R 所对应的电流强度 I 及路端电压 U。以 U 为纵坐标，以 I 为横坐标作 U-I 图象，它是一条直线，如图 4-39 所示。直线在纵坐标轴上的截距为电源的电动势 ε，在横坐标轴上的截距为短路电流 I_0，直线的斜率 $\text{tg}\alpha = -r$。对于

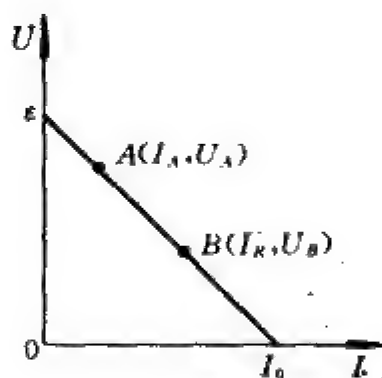


图 4-39

任意两点 A、B，显然有：$r=-\mathrm{tg}\alpha=-\frac{U_B-U_A}{I_B-I_A}$。如果取 $A(0,\varepsilon)$，$B(I,0)$，则 $r=\frac{\varepsilon}{I}$。

测定一节 1 号旧电池的电动势和内阻，可用四种测量电路。

电路一：如图 4-40 所示，这种方法叫内接法。电流表与可变电阻(电阻箱)R 串联之后，再与电压表并联在电路中。实验时，合上 K_1，K_2 后，调节电阻箱 R 的阻值，从电流表和电压表上读出相应的电流强度 I 及路端电压 U。当 K_2 断开。K_1 闭合时，电压表上的读数为电源电动势 ε。

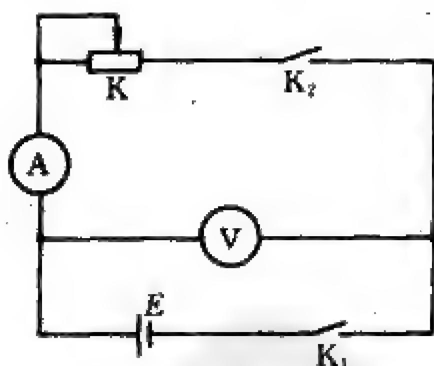


图 4-40

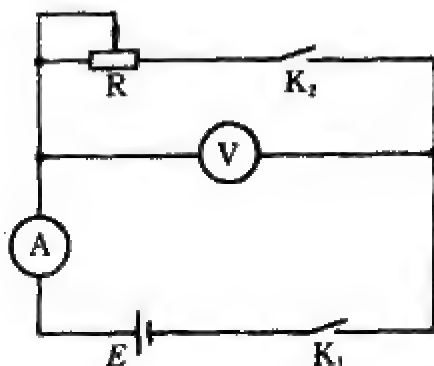


图 4-41

电路二：如图 4-41，这种方法也可叫外接法。电压表与电阻箱并联再与电流表串联在电路中。实验方法与电路一相同。

电路三：如图 4-42 所示，仅用一只电流表。实验时，闭合开关 K，调节电阻箱 R 的阻值，读出电流强度 I。根据 U=IR 计算出相应的路端电压 U。

电路四：如图 4-43 所示，仅用一只电压表并联在电路中，实验

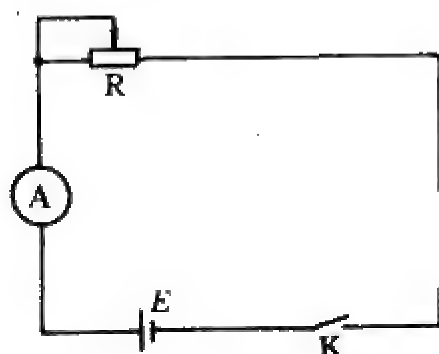


图 4-42

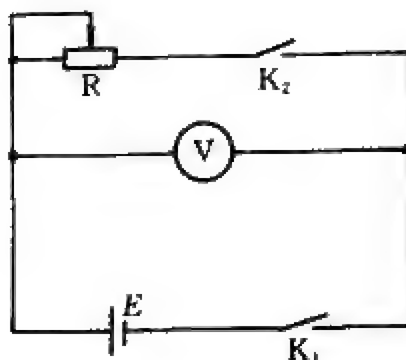


图 4-43

时，改变电阻箱 R 的阻值，从电压表上测出路端电压。电流强度由 $I=U/R$ 计算得出。当 K_1 闭合，K_2 断开，测得的路端电压即为电池电动势。

这里电路三、电路四，都必须以电阻箱来作为可变电阻，不能用滑线变阻器，并以 R 上的读数作为测量值。

【参考资料】

(1)电流表改装成电压表的实验举例

用 J0409 型灵敏电流计改装成 3V 或 15V 的电压表。

电流计的内电阻 R 用半偏法中的进行测量。

(2)测电池的电动势和内阻实验举例

用前面介绍的四种电路，对同一节 1 号电池进行了测量，其结果见表 4-7

表 4-7

电路	R(Ω)	2	3	s	10	15	20	30	60	∞	内阻(Ω)	电动势(V)
电路一	I(A)	0.57	0.42	0.27	0.14	0.10	0.08	0.06	0.03	—	0.36	1.53
	U(V)	1.32	1.38	1.43	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.54		

续表

电路二	I(A)	0.57	0.42	0.27	0.14	0.10	0.08	0.06	0.03	—	0.54	1.54
	U(V)	1.22	1.31	1.39	1.46	1.48	1.49	1.50	1.51	1.53		
电路三	I(A)	0.58	0.43	0.27	0.15	0.10	0.08	0.06	0.03	—	0.60	1.54
	U(V)	1.16	1.28	1.35	1.45	1.50	1.56	1.68	1.56	—		
电路四	I(A)	1.30	1.36	1.41	1.48	1.49	1.50	1.50	1.51	1.52	0.39	1.51
	U(V)	0.65	0.45	0.28	0.15	0.10	0.75	0.05	0.25	—		

为了作 U-I 图象，外负载电阻 R 从 2Ω 变化到 60Ω，若测定八组数据。当外电路断开时，路端电压就是电源的电动势，这一结果也列在表中。

表中所列出的内阻 r 及电动势 ε 是取外负载电阻 R 分别为 3Ω 和 10Ω 时两组数据，代入公式(4-11)，(4-13)中计算得到的，也可根据 U-I 图象求得。

从表中可以看出，在外负载电阻 R 相同的情况下，四种电路的 U，I 值不完全相同，测得的电池电动势几乎没有差异，但内阻 r 不同。其中电路一、四的结果比较一致，电路二、三的结果比较一致。

分析一下原因：

按电路一、四测量时，从电流表读得的电流值 I，或根据公式 I=U/R计算得到的 I 值都不包括通过电压表的电流 I_v。因此测量值小于外电路上的总电流(I+I)值，得到的电动势 ε 也是偏小的。按实验电路，电池的电动势应是 $U+(I+I_v)r$，与实验值 $\varepsilon=U+Ir$ 相比，差一项 I_vr，这是实验电路本身带的系统误差。但电池的内阻 r 很小，当电压表的内电阻足够大，使得通过电压表的电流 I_v 比通过电流表的电流小得很多时，这一项的影响就很小，可以忽略。这一条件在一般情况下总能得到满足。

表中的数据是用 J0408-1 型直流伏特计测量的，该表在 3V 档时，内电阻为 3kΩ。当外负载电阻 R 为 60Ω 时，通过电压表的电流

I 约占 I 的 1/50，仅为 5×10A。一节 1 号新电池的内电阻 r 不超过 0.5Ω，所以 $I_v r$ 这一项约为：

$I_v r = 5\times10^{-4}\times0.5 = 2.5\times10^{-4}$V，与电池电动势 1.5V 相比，是完全可以忽略的。因此，用电路一、四测得的电动势，与用电路二、三测得的结果很相近。

在测定电池内阻 r 时，若按电路二、三进行实验，电流表测得的是外电路上的总电流，但电压表测得的路端电压 U(或根据 U=IR 计算得到的)仅是在外负载电阻 R 上的电势降落，没有包括在电流表上的电势降落 U_A，所以测值 U 小于实际的路端电压，得到的内阻 r 就偏大。根据全电路欧姆定律，这两个电路中。$\epsilon = U + Ir + U_A = U + Ir + IR_g$，这里 R_g 是电流表的内电阻。因此测得的电池内阻中还包含了电流表的内电阻，这也是实验电路本身的系统误差。虽然 R_g 很小，但由于电池的内阻 r 也很小，所以不能忽略，测量结果自然存在差异。

表中数据是用 J0407-1 型直流安培计测定的，该表在 0.6A 档时表头压降为 75mV，内阻为 $R_g = 7.5\times10^{-2}/0.6 \approx 0.125$ 欧，约为干电池内阻的 20%(干电池内阻以 0.5Ω 计算)。这样大的比例不能忽略。从表中数据可以看出，电路二、三测得的电池内阻确实比电路一、四测得的大。如果扣除了电流表的内阻 R_g，测得的结果就接近一些。

所以，在四个测量电路中，电路一、四的实验误差比较小。

注意以下几点：

①1 号新电池，电动势在(1.55～1.58)V 之间，但一经使用，很快就降低到 1.50V 左右。因此，使用前要用小电流放一下电，使电动势稳定下来。

②当外负载电阻 R 较小时，电路中的电流较大，已超出了干电池的正常放电电流范围(1 号干电池的正常放电电流约为 0.3A)。在这种情况下，通电时间越短越好，读好数据及时切断电源。否则容易损伤电池，测量数据也不稳定。如发现测量数据不稳

定，可以切断电源，等待片刻后再进行实验。

③由于干电池的内阻较小，短路时电流大，因此不管用哪一种电路进行实验，在按下开关接通电源时，电阻箱的阻值都不允许为零值。滑动变阻器在改变阻值时，也应防止阻值为零的现象发生。

【思考题】

1. 在半偏法测电流的内电阻时，采用图 4-37 所示的电路进行实验。当 K 闭合时，R 与表头内电阻 R 并联，为使并联 R 而产生的系统误差小于 1%，应该怎样做？

2. 如果用 1 号干电池做测定电动势与内阻的实验，应选用旧电池还是选用新电池较好？为什么？

3. 你能自己设计一套实验方案，测定电流表的内阻与测定电池的电动势和内阻？

§4.5 训练五 教学示波器及其演示实验

【训练目的】

1. 熟悉教学示波器的结构。

2. 练习在教学中运用教学示波器。

【实验仪器】

J2458 型教学示波器一台，J2460-1 型电子开关一台，低压电源(J1201 型)一台，电阻(24K)一个，电容(“0.1μF，6.3V”“0.2μF，6.3V”，“10μF，10V”各一只)。电感是较大的电感线圈一只，三相手摇发电机(J2420 型)一台，导线若干。

【仪器简介】

1. J2458 型教学示波器

J2458 型教学示波器，是按照教育部标准“JY3-78 教学示波器技术条件(试行)”设计制造。主要供中学物理演示实验使用。

J2458 型教学示波器外形结构如图 4-44 所示。

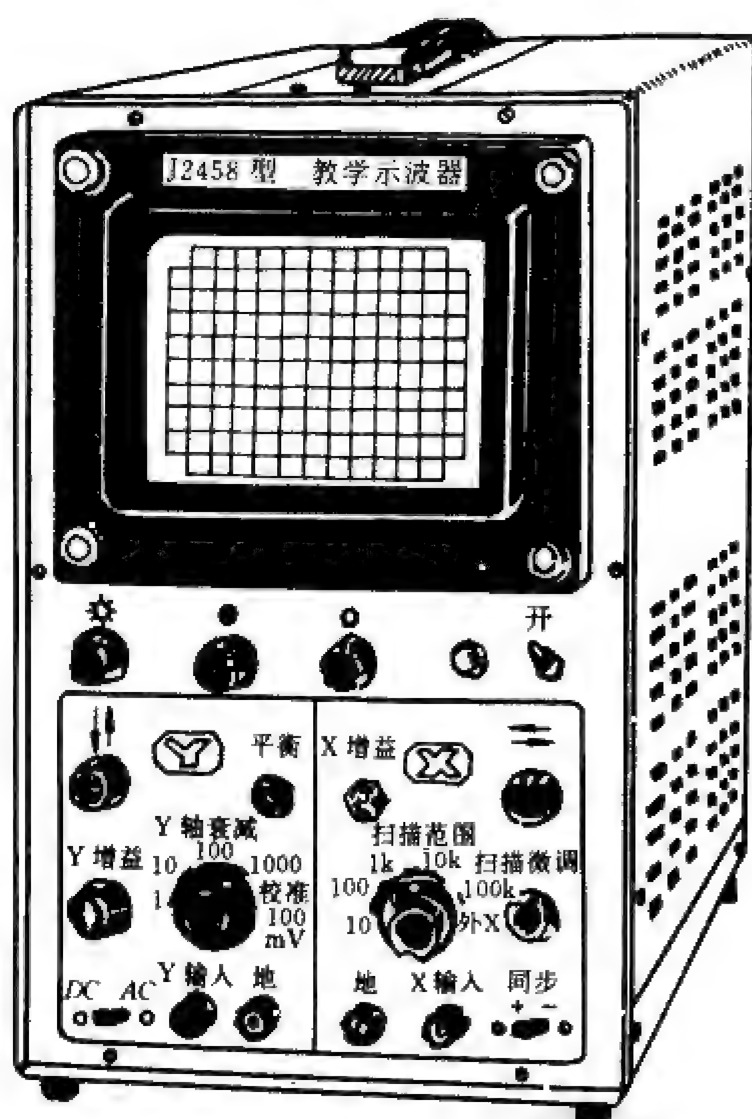


图 4-44

一、技术指标

1. 垂直系统

频率响应：直流：DC～2mHz≤3dB；

交流：　　　　5H～2mHz≤3dB；

灵敏度：　　　≤20mVpp/格；

输入阻容：　　1mΩ∥40pF；

衰减倍率：　　1、10、100、1000、四档±10%；

输入耐压：　　400V(DC＋ACpp)。

2. 扫描系统

扫描频率：　10Hz～100kHz；

分四档：

10Hz～100Hz；

100Hz～1kHz；

1kHz～10kHz；

10kHz～100kHz。

同步：内正同步；内负同步。

3. 水平系统

频率响应：　DC～500kHz≤3dB；

灵敏度：　≤64mVpp/格；

输入阻容：　1mΩ//60pF。

4. 校准信号

波形：　方波；

频率：　1000Hz±10%；

幅度：　100mVpp±5%。

5. 示波管

型号：　13SJ　38J；

显示有效面积：　8 格×12 格 12 格＝0.8cm

余辉：　中。

6. 其他

使用电源：　220V±10%、50Hz；

消耗功率：　约 50VA；

工作时间：　连续 8 小时；

机箱尺寸：　220×320×420(mm)^3；

重量：　约 10kg。

二、工作原理

J2458 型教学示波器工作方框图如图 4-45 给出。虚线标出了

三大方框。第一方框为主机部分，包括示波管、示波管控制电路、电源消隐电路、校准信号发生器等。第二方框为垂直部分，包括输入耦合开关、衰减器、垂直放大器等。第三方框为水平部分，由扫描发生器、水平放大器等组成。垂直部分的控制旋钮都集中在仪器面板左边标有 Y 的蓝框线内；水平部分的控制旋钮都集中在画板右边示有 X 的蓝框线内；面板上半部分为主机部分控制旋钮及示波管荧光屏。

1. 示波器

J2458 型示波器采用 13SJ　38J 示波管。这种示波管的特点是荧光屏直径较大，$\varphi=133$mm。同时管内还设有第四阳极，又称为后加速阳极，提高了示波管的亮度。

2. 垂直放大器

由两级电子管差动放大器组成。输入级用一只 6N3 型双极管。这一极设有垂直位移电位器，Y 增益调节器 R 平衡调节电位器。平衡调节电位器的中心头接一负电压，以加强这级差动放大器的稳定性。输出级用两只 6J5 型束射四极管，以增加垂直放大器的放大量，总放大量可达 600 倍以上。放大后的信号由输出级平衡地输送到垂直偏转板。

3. 扫描放大器

扫描放大器，用于产生与时间成正比的锯齿形电压，是由一只 6N3 型双三极管组成的板栅耦合不对称多谐振荡器。扫描范围分为五档。置“外 X”档时，扫描发生器停止工作。用电位器来实现扫描微调。

4. 水平放大器

J2458 型示波器水平系统频率响应要求从直流开始，因此水平放大器采用两级直流耦合差动放大器。放大器的总量约为 280 倍，以保证水平系统灵敏度优于 64mVpp/格。

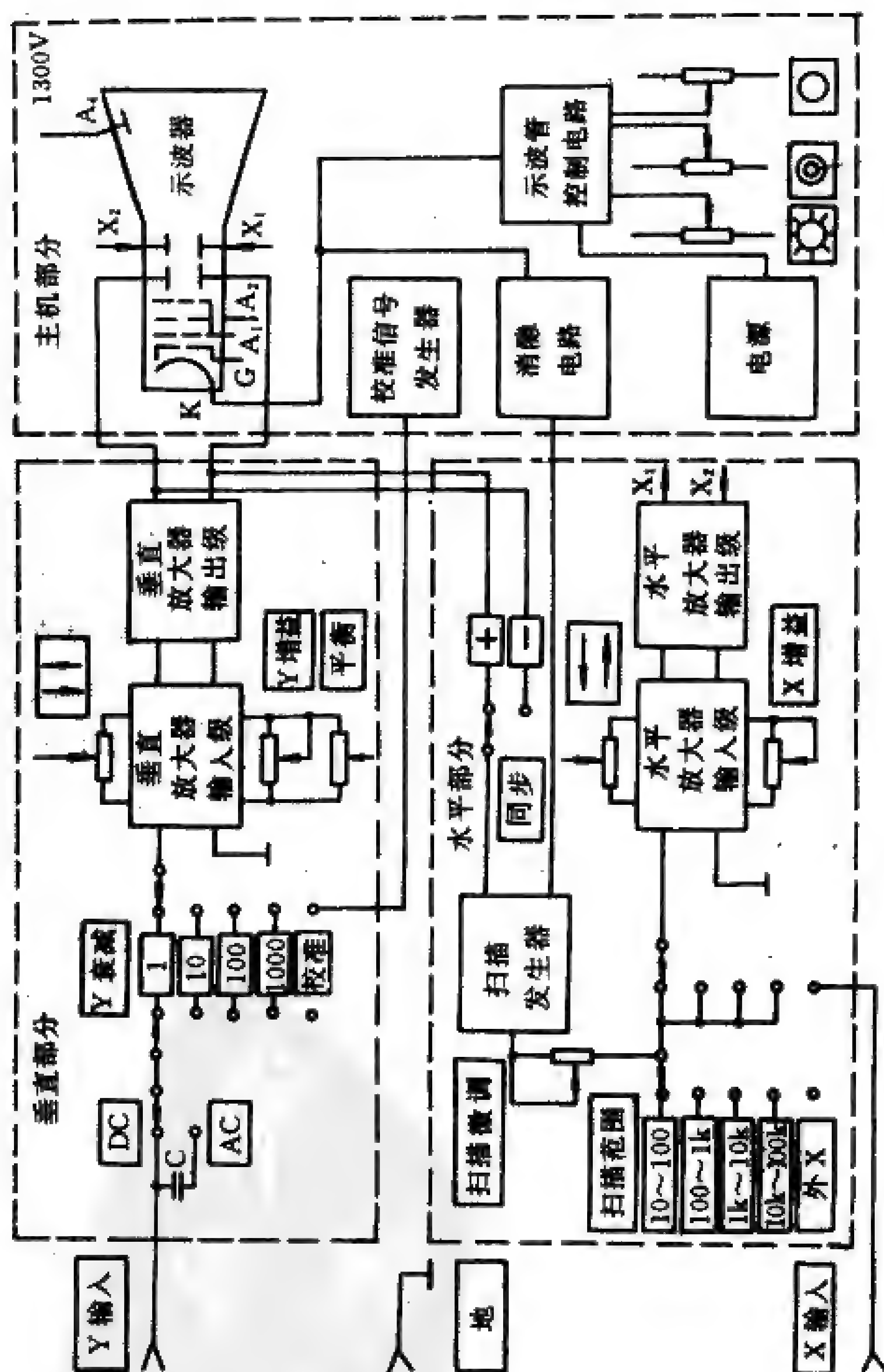

主机部分
1300V
示波器
K
G
A
X
校准信号发生器
消隐电路
示波管控制电路
电源
垂直部分
Y输入
DC
AC
C
Y衰减
1
10
100
1000
校准
垂直放大器输入级
垂直放大器输出级
Y增益
平衡
水平部分
地
同步
+
−
扫描发生器
扫描微调
扫描范围
10～100
100～1k
1k～10k
10k～100k
外X
X输入
水平放大器输入级
水平放大器输出级
X增益

图4－45

输入级由一只 6N3 型双三极管组成，电路和垂直放大器输入级相同。这一级设有水平位移电位器和 X 增益电位器，输出级由一只 6N1 型双三极管组成。经水平放大后的信号，反相接到示波管垂直偏转板，这是为了将扫描产生器产生的随时间减小的锯齿波倒转过来，使扫描线符合从左到右扫的要求。

5. 消隐电路

扫描发生器在回扫时，示波管荧光屏上光点很快地从水平方向返回原起始点。回扫时间虽然比扫描时间短得多。但荧光屏上也会出现回扫线。回扫线叠加在被测波形上，会影响被测波形的观察。待别在观察较高频率信号，当回扫期和被测信号周期可以相比拟时，回扫线在垂直方向也产生上下移动，对被测波形干扰更大。最好的办法是让示波管在回扫时电子枪不发射电子。回扫线就不会显示出来。示波器中起这个作用的电路称消隐电路。

扫描发生器在回扫期间，有一负脉冲产生。将这个负脉冲取出。经消隐电路中的放大器放大并倒相成正脉冲，经高压电容耦合到示波管阴极。阴极得到正脉冲时，相当于控制栅极比阴极负很多。此时阴极发射的电子不能通过控制栅极，电子枪不发射电子束，荧光屏上就没有光迹显示。在扫描期间，正脉冲消失，阴极发射的电子正常通过控制栅极，电子枪发射出电子束，于是荧光屏显示出光迹。这就是消隐电路的工作原理。

6. 校准信号发生器

校准电路信号发生器由晶体管电路组成。两只晶体三极管组成典型自激多谐振荡器，产生频率为 1kH 的方波。一只晶体三极管组成整形放大器，整形后的方波经电位器调到 100mV，输送到衰减器开关上。当示波器测试时，校准信号发生器电源被切断，电路就停止工作。

7. 电源部分

电源部分供给示波管以正、负高压以及线路部分用的正、负电压。正负电压是经半波三倍压整流而成的。其余电压都是经全波

整流，π形阻容滤波后供给。

使用J2458型示波器应注意以下几点：

①使用时应先检查一下垂直放大器平衡是否正常。仪器开机后，将扫描线调到坐标片垂直方向正中，再转动Y增益旋钮，如这时扫描线产生较大的上下移动，则表示垂直放大器已失去平衡，需要进行平衡调整。

具体调节平衡方法是：

将Y增益旋钮逆时针方向转到底，用小起子调面板上平衡电位器起子孔，使扫描基线处于荧光屏坐标片垂直方向正中位置。然后将Y增益旋钮顺时针转到底，如扫描线不产生较大的上下移动，则电路已属平衡。如仍产生较大的上下移动，可转动垂直位移旋钮"↑↓"，使扫描线移到荧光屏正中，然后再将Y增益旋钮逆时针转到底，这里扫描线离开了正中位置，再调平衡电位器使扫描线移到正中位置。这样反复调几次就可以使电路达到平衡。一般当转动Y增益旋钮时，扫描线移动小于1格(0.8cm)，即可认为垂直放大器已达到平衡。

②教学示波器显示辉度较亮，如果不作课堂演示，不宜将辉度调到最亮。当光点停留在一点时，应注意将辉度减弱，关机时应先关灭辉度。

③前几年出厂的J2458型教学方波器，校准信号是采用50H交流正弦波削波放大后成为方波的，其方波上升，下降时间较慢，荧光屏显示的方波上升下降迹线很明显。近两年出厂的示波器校准信号已改为1kH$_z$方波，上升下降时间短，因而在荧光屏上方波上升下降迹线很淡，这是正常现象，表明校准信号是良好的。

④过去出厂的J2458型示波器，为了配合J2461型晶体管特性图示仪，使被测的晶体管能显示出正确的极性，特地将示波器垂直放大器极性与水平扫描方向都反接。这种示波器在Y输入端加正极性信号时，荧光屏垂直方向显示向下移动，加负极性信号时向上移动。将扫描频率放慢到10H$_z$时，可看到荧光屏上扫描线是由

右向左扫，而不是习惯要求的那样由左向右扫，这对观察一般重复频率信号，关系不大，但在测量带极性的信号及测量信号相差时，应注意这个问题。在进行这方面测试前，为了避免搞混，可以将方波器侧盖打开，将垂直放大器接到示波管垂直偏转板两根线对调焊接，水平放大器接到示波管水平偏转板的两根线也对调焊接，那么垂直放大器显示的极性与水平放大器扫描方向都改正过来了。如果配合 J2461 型晶体管特性图示仪使用时，欲显示晶体管的正确极性，可将两对接线再改焊过来。

⑤示波器使用时，输入电压不应超过规定的最大输入耐压 400V(DC+ACpp)如果信号为直流，则应小于 400V；如果信号为正弦交流，其峰-峰值应小于 400V，有效值应小于 142V。如果信号为直流加交流，则其直流和交流峰值之和应小于 400V。特别要注意当 Y 衰减开关放到“1”时，应防止过大的被测信号加入输入器，以免损坏仪器。

2. J2460 及 J2460-1 型电子开关

J2460 型电子开关主要是与 J2458 型教学示波器配套，供演示实验使用。只能显示一个信号波形的单线示波器，配上电子开关使用后，就可以同时显示两个信号的波形，作为双踪示波器使用。

J2460-1 型电子开关外形如图 4-46 所示。

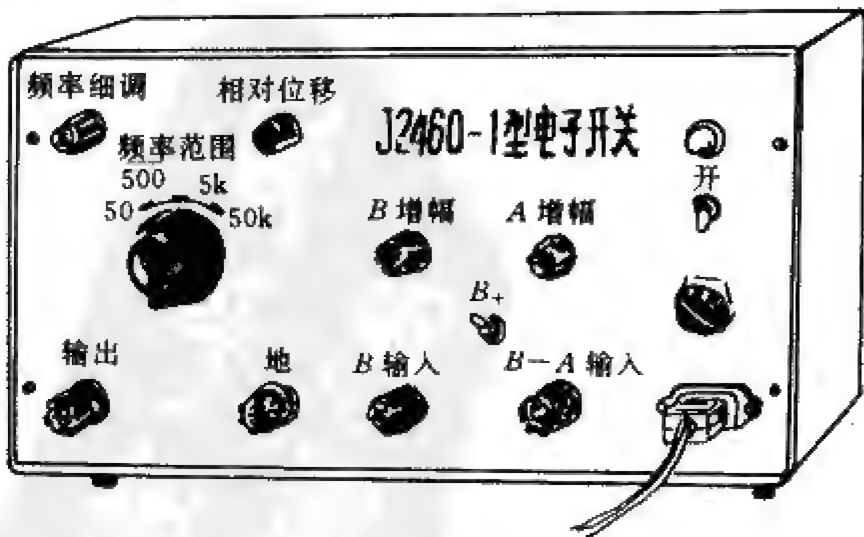


图 4-46

从原理上来讲，电子开关可以看作是一种快速自动的单刀双掷开关，它自动地控制两个信号的通断时间，当A信号导通时，B信号被切断；B信号导通时，A信号被切断。于是在输出端，两信号断续或交替地合成一个信号，送入示波器，使示波器显示出双踪波形。

使用电子开关时操作步骤如下：

①"输出"与"地"接线柱用短导线接到示波器的"Y输入"与"地"。

②电子开关"A增幅"、"B增幅"两旋钮都逆时针方向转到底。

③"频率范围"开关扳到"(5K～50K)H_z"，"频率细调"旋钮顺时针方向转到底。

④调整示波器：输入耦合开关扳至"DC"；"Y轴衰减"开关放到"10"；"Y轴增益"置适中位置；"扫描范围"开关扳至"(10～100)H_z"；打开示波器开关预热

⑤打开电子开关电源，荧光屏上会显示出两条扫描线，这就说明单踪示波器通过电子开关的作用已变成了双踪显示。

⑥当被测信号频率在10H_z～50kH_z时，可将观察比较的两个信号分别接到电子开关"A输入"，"B输入"和"地"接线柱之间。电子开关频率一般应高于被测信号频率的10倍以上。慢慢地顺时针方向转动"A增幅"，"B增幅"旋钮，使示波器荧光屏Y方向两个波形有合适大小的显示即可，再调节示波器"扫描范围"与"频率微调"旋钮，使被测波形稳定显示。

【实验内容】

一、练习调整示波器

用J2458型教学示波器来做实验，实验内容如下：

1. 了解面板上各控制器的名称和作用

"开"是电源开关，用它接通或断开电源。当把手柄扳向"开"时，电源接通，经预热(3～5)分钟，即可工作。

“☼”旋钮是辉度调节旋钮，也叫亮度调节旋钮。用它来控制荧光屏上光点的亮度。顺时针方向旋转时，亮度增加，反时针旋转时亮度减弱。

“⊙”旋钮是聚焦调节电位器。调节它可以使电子射线恰好聚焦在荧光屏上，形成一个明亮清晰的小圆点。调节聚焦时，应将“Y轴衰减”和“扫描范围”旋钮分别置于“1000”和“外X”档，并将“X增益”旋钮逆时针方向转到底。

“○”旋钮是辅助聚焦调节电位器，它通常与聚焦旋钮配合使用。

“↑↓”旋钮是Y轴位移电位器，用它来调节光点在荧光屏垂直方向上的位置。顺时针方向旋转，光点向上移动；反时针方向旋转，光点向下移动。

“→←”旋钮是X轴位移电位器，用它调节光点在荧光屏水平方向上的位置。顺时针方向旋转，光点向右移动；反时针方向旋转，光点向左移动。

“Y输入”和“地”接线柱是示波器Y轴系统的输入端。被观察和测量的信号电压从这里输送到Y轴放大器里。

“AC”、“DC”是Y轴输入耦合开关。置于“AC”时，输入信号经耦合电容输送到Y轴放大器，隔绝了信号中的直流成分，使屏幕上显示的波形，不受直流电压的影响，适用于观察纯交流信号。置于“DC”位置时，输入信号直接送到Y轴放大器里，适于观测低频以及含有直流分量的信号。

“Y轴衰减”旋钮，它的作用是衰减输入信号电压，以便在荧光屏上得到大小适中的信号图形。根据输入信号的大小，扳动选择开关，可使输入到Y轴放大器的实际电压分别为“Y输入”接线柱所加信号电压的1/10、1/100、1/1000。开关置“1”档时，输入到Y轴放大器的实际电压与输入信号电压一致。

当这个开关扳到“校准”档时，荧光屏上可显示一个幅度为250mV的正弦波图形，以此来检验示波器工作是否正常以及做测

量时的增益校准等。

“Y 增益”旋钮的作用是连续改变 Y 轴放大器的电压放大倍数，使在荧光屏垂直方向得到大小适当的信号图形。

“扫描范围”旋钮的作用是选择电子射线在水平方向的扫描频率。当置于外接档时，扫描停止。可由“X 输入”接线送入被观测的信号，并在荧光屏水平方向上得到显示。

“扫描微调”旋钮的作用是微调扫描频率以达到稳定波形的目的。

“X 输入”和“地”接线柱是 X 轴系统的输入端，只有当“扫描范围”旋钮置于“外 X”档时，才能使用。

“X 增益”旋钮，用它来连续改变水平放大器的输入信号电压，以控制水平方向迹线的长度。

“同步”是步极性选择开关，置于“+”时，扫描电压是由被测信号的正半周同步；置于“－”时，由被测信号的负半周同步。

2. 使用前的调整步骤

首先把面板上各控制器和开关等，按表 4-8 所列的位置放好。

表 4-8

实验电路	R(Ω)	2	3	5	10	15	20	30	60	∞	内电阻 r (Ω)	电动势 ε (V)
(一) 图 2-2	I (A)	0.578	0.423	0.268	0.143	0.100	0.079	0.057	0.027	/	0.36	1.53
	U (V)	1.32	1.38	1.43	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.54		
(二) 图 2-3	I (A)	0.570	0.420	0.265	0.143	0.100	0.079	0.056	0.027	/	0.54	1.54
	U (V)	1.22	1.31	1.39	1.46	1.48	1.49	1.50	1.51	1.53		
(三) 图 2-4	I (A)	0.578	0.428	0.270	0.145	0.100	0.078	0.056	0.026	/	0.60	1.54
	$U=IR$ (V)	1.16	1.28	1.35	1.45	1.50	1.56	1.68	1.56	/		
(四) 图 2-5	U (V)	1.30	1.36	1.41	1.48	1.49	1.50	1.50	1.51	1.52	0.39	1.51
	$I=\frac{U}{R}$ (A)	0.650	0.453	0.282	0.148	0.099	0.075	0.050	0.025	/		

然后，将电源开关扳向“开”，即接通电源，指示灯发光。过(3～5)分钟待示波器进入工作状态后，顺时针方向转动辉度控制旋钮，使荧光屏上出现一个亮度适当的光点。再缓慢地分别调节位移、聚焦和辅助聚焦等旋钮，使光点位于荧光屏的中心，并且最小、最清晰，这样示波器就调整好了。

二、用示波器观察交流电的波形

准备一台低压电源，选择交流输出，输出电压选择“2V”。

用一只电阻 R＝24K，电容(0.1～0.22)μF 一个，如图 4-47 所示，按低压电源交流输出 2V，另一端准备接入示波器。

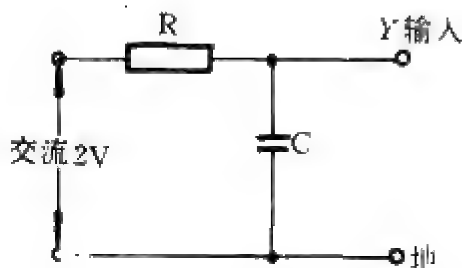


图 4-47

将已调整好的示波器再作如下调节：

衰减	置“10”；
Y 输入耦合开关	置“AC”；
同步开关	置“＋”；
扫描范围	置“10～100”；
Y 输入、地	按上图接好。

演示时，先打开示波器开关预热(2～3)分钟，再开低压电源开关。适当调节“Y 增益”旋钮，示波器的显示屏上即出现 50Hz 交流电的正弦波形，再缓慢地转动“扫描微调”，等旋钮，使波形为(3～4)个并稳定清晰。如图 4-48 所示。

从图中可以看到：交流电是周期性变化的，从 $0\sim0_1$、$0\sim0_2$、$0_2\sim0_3$ 的时间为 1 周期。交流电电压的大小和方向也是随时间变化的，U 为交流电的瞬时值，U_m 为交流电的最大值。

这里有 Y 输入端接一个 RC 电路是为了防止高频谐波对 50Hz 交流的干扰而设置的滤波电路。往往不接 R、C 的情况下，波

形要发生失真，如图 4-49 所示，影响演示效果。

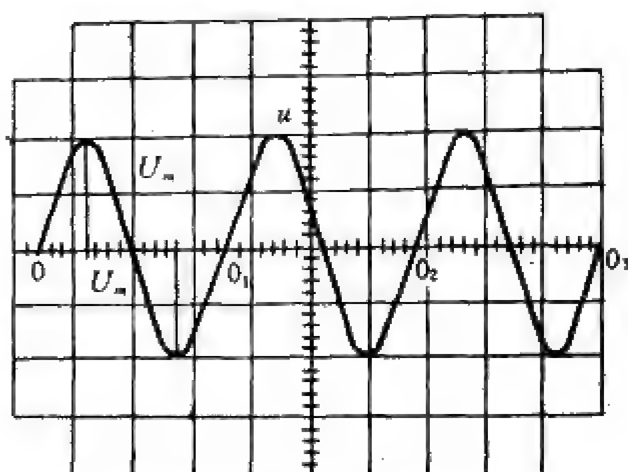


图 4-48

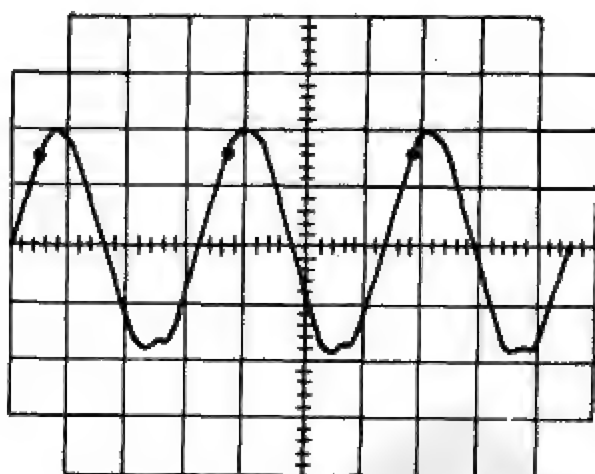


图 4-49

三、观察三相交流电波形

用一台 J2420 型手摇三相交流发电机，从“A”、“B”、“C”三根相线中的任意两条引出导线接于电子开关的“A 输入”和“B 输入”，再从它的“O”线上引出导线，接在电子开关的“地”。示波器的“Y 输入”和“地”分别与电子开关的“输出”、“地”接线柱连接起来。

如图 4-50 所示。

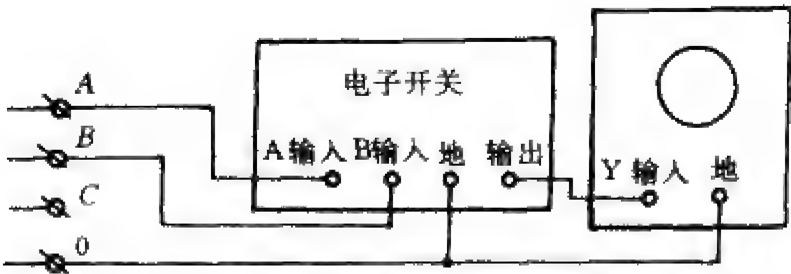


图 4-50

演示时，把电子开关的“频率范围”置于“5K～50K”Hz 档，示波器的“Y 轴衰减”、“扫描范围”分别置于“10”和“10～100”Hz 档，“扫描微调”旋钮逆时针方向转到底，使屏上呈现清晰而缓慢移动的扫描迹线。这时把手摇三相交流发电机的大皮带轮迅速转动起来，使其发电。适当调节电子开关中的“*A* 增幅”、“*B*”、“相对位移”以及示波器里的“*Y* 增幅”等旋钮，在显示屏上就显出三相交流电在任意两项的波形。可以看出两相线间的相位差是 120 度。

交换任意一相，重新观察，都可以得出同样的结果。

四、用示波器观察阻尼振荡

如图 4-51 所示电路，C 为电容（0. 1μF、0. 2μF，6. 3V 各一个；10μF、10V 一个），L 为电感量足够大带有铁芯的线圈。

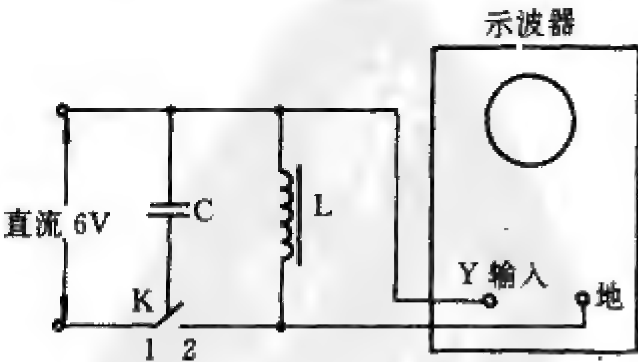
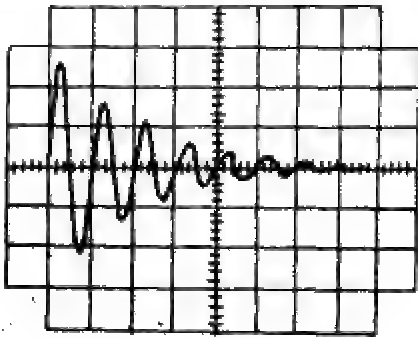


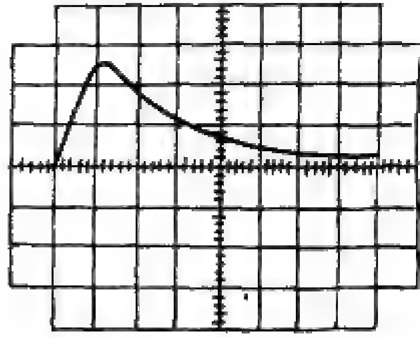
图 4-51

演示时，先把示波器的“*Y* 轴衰减”分别置于“10”和“10～100”Hz 档。再把图 4-51 中的开关 K 扳至“1”，用低压电源直流 6V 给

电容(0.1μF、6.3V)充电。然后将K扳至"2",接通振电路LC,同时适当调节"扫描微调"、"Y增益"、"X增益"等有关旋钮,在荧光屏上就显示出一个清晰的幅度随时间逐渐减小的正弦波形,即阻尼振荡的波形。每扳动K至"1"充电,又扳至"2"放电,都可以看到阻尼振荡的波形。如图4-52(甲)所示。



(甲)



(乙)

图4-52

把C换成"0.2μF、6.3V"的电容,再重复上述过程,可以看到阻尼振荡的周期随之变大。这样就能定性地说明阻尼电磁振荡以及振荡周期:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

的关系。

若将C换成"10μF、10V"的电解电容器,则屏上会出现图4-52(乙)所示的波形。这是一非周期性地振荡,不再是周期性的阻尼振荡了。从而说明,产生振荡必须满足电路中损耗电阻$R<2\sqrt{L/C}$的条件。也说明要增大振荡电路的周期,必须增大电感L而不能无限制地加大电容C。

【思考题】

1. 如果示波器是很好的,但由于各个旋钮位置并未调好,荧光屏上看不到亮点。问哪几个旋钮位置不合适就可能造成这种情况?

2. 还是使用这个练习的实验仪器,你能演示电感、电容对交流电相位的影响吗?画出实验电路图。

§4.6　训练六　光的本性演示实验研究

【训练目的】

1. 练习使用 J2508 型光的干涉、衍射、偏振演示器。

2. 探讨自制教具来演示光的本性实验。

【实验仪器】

J2508 型"光的干涉、衍射、偏振演示器"一套、学生电源、"12V、50W"卤钨灯泡专用变压器电源、铜网、锌片各一张、指针验电器两个、石蜡块、紫外线光源等。

【仪器简介】

1. 光的干涉、衍射、偏振演示器(J2508 型)

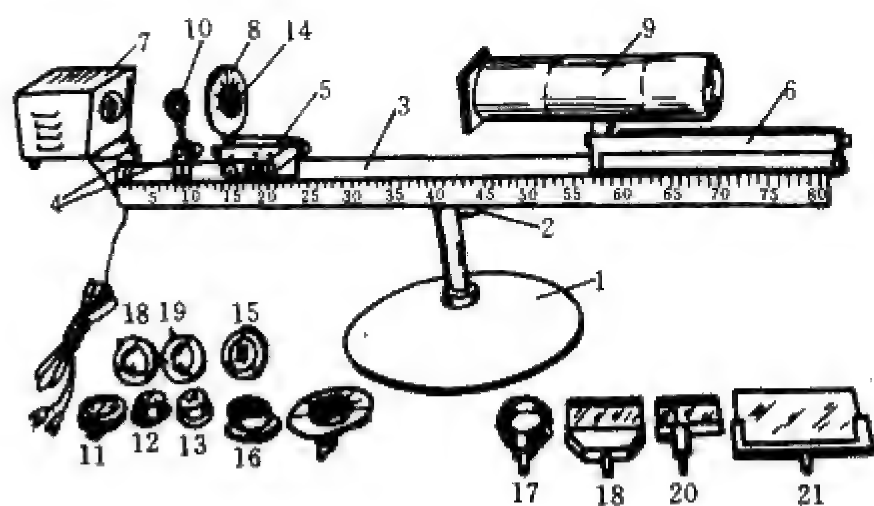
这套演示器的外形见图 4-53。它由光具座、光源、观察筒及光学元件四大部分组成。光具座——由底座、支杆、导轨组成。导轨的一侧有厘米刻度的标尺。导轨上有四个滑块:短滑块二个、中滑块一个、长滑块一个。中滑块上可以固定梯形具座,长滑块的一端可以拉出来以增加导轨长度。导轨可以任意转动,也可固定在某一方向上。

光源——光源灯泡是一只"12V,50W"的卤钨灯,经短焦距聚光透镜成平行光射出。如要用线光源,可在光射出射口的透镜筒上套一只单狭缝。光源插杆与单缝在同一直线上,左右转动光源时,单缝在导轨上的位置不变。

观察筒——由三节胶木管组成。靠光源一端有一方孔光栏,用来挡住杂散光。中间一节胶木管里有一块毛玻璃屏,用来接收干涉、衍射图样。后面一节胶木管里有一块放大镜,可以把光屏上的图样放大 1.5 倍左右。

光学元件——光源单缝二个、衍射单缝、双缝、多缝、双面镜、光栅、牛顿环、玻片起偏器、透镜、白屏、毛玻璃屏各一件、人造偏振

片二片、光具架二个。



1. 底座 2. 支杆 3. 导轨 4. 短滑块 5. 中滑块及梯形具座
6. 长滑块 7. 光源 8. 光具架 9. 观察筒 10. 透镜 11. 光源单缝
12. 衍射单缝 13. 双缝 14. 多缝 15. 光栅 16. 牛顿环
17. 牛顿环环支架 18. 偏振片 19. 波片起偏器 20. 双面镜 21. 毛玻璃

图 4-53

实验用的光源由低压电源(或学生电源)供电。单狭缝的缝宽是 0.11mm，使用时套在光源的聚光透镜镜筒上。双缝、偏振片等均可装在光具架上并在导轨上滑动。

2. 简易干涉、衍射仪器的制作

(1)单缝的制作

方法一

把曝过光的 135 底片放在玻璃板上，用锋利的刀片沿直尺在胶片上划一条细缝，然后用硬纸板或胶木板制两个有方孔的框，把胶片夹起来粘牢。

方法二

1. 取一块边长约 6cm 的正方形不透光的塑料板或三合板，中央挖一个长 25mm、宽 10mm 的长方形孔。将两个保险刀片平放在塑料板上，使两刀刃平行且相距 0.4mm 左右。刀片的其余三边用松香和蜡的混合物(或快干胶粘封在板上)如图 4-54(甲)。使用

时，将它放在支架上。

方法三

在一大张白纸上画一条整齐的宽为 10mm 的黑墨直线，在自然光下用照像的办法制成缩小 25 倍的黑白底片，黑线反映在底边上成为透明的单缝，缝宽约 0.4mm。只要透明度好，反差大即可，将制成的底片粘固在双层厚纸框内。如图 4-54(乙)。

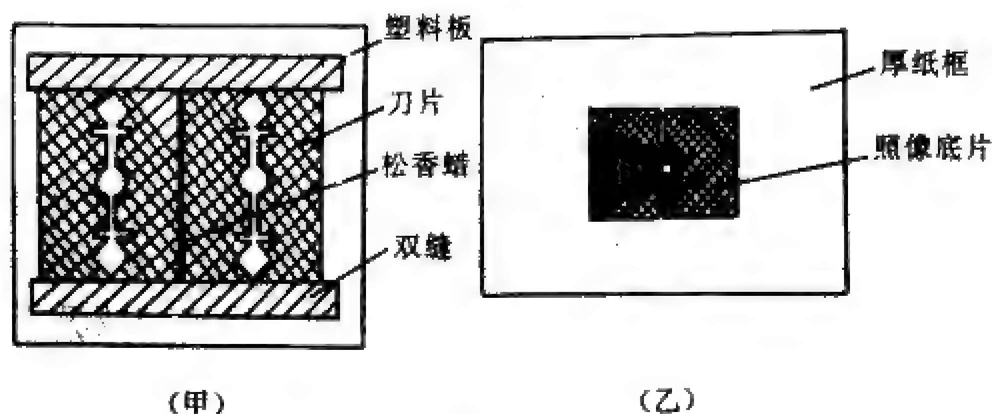


图 4-54

(2)双缝的制作

方法一

按前面单缝制作的第二种方法，然后在两刀刃的单缝中央拉一条 $\varphi=0.08$mm 的漆包线，将单缝分割成双缝。

方法二

按前面介绍单缝制作方法三，在白纸上画两条约 5mm 宽，相隔 2mm 的黑线，照像制成的底片上缝宽约为 0.2mm，缝距约为 0.08mm。

(3)光栅的制作

在一张 60×85(cm^2)的白纸上用墨笔画(150～160)条平行线，黑线宽 3mm，间距 2mm。可用绘图鸭嘴笔画出黑线的两边，再用笔将两边之间的区域涂黑。然后把图样挂在室外，让阳光均匀地照亮全图，再用 135 照相机从正面取景拍照，在光线较强时，可取

光圈为 $f=11$ 或 $f=16$，曝光时间$\frac{1}{100}$s。最好将照相机固定在三角架上，用自拍摄影。照相机到物的距离可取(4～14)m，摄成的底片可获得每厘米(100～400)条左右。摄后的底片宜用微粒显影粉显影。经显影、冲洗、定影、冲洗晾干后，制好边框，光栅就完成了。对这种自制光栅，可根据图在底边上的宽度 a 来计算它的光栅常数。$d=a/150$，如 $a=1$cm，则光栅常数 d 就是$\frac{1}{150}$cm。

【实验内容】

一、单缝衍射

当一束平行光垂直入射到很狭的单狭缝上时，可以把单缝面的每一个点作为一个新光源。这些新光源发出的光波在空间互相叠加，使得有些地方互相加强，形成亮点；有的地方互相减弱，形成暗点。

若在单缝后面置一块屏幕，如图 4-55 所示，屏幕上会显现出明暗相间的衍射条纹。中央是一条较亮、较宽的明条纹，称为中央明条纹或零级明条纹。它的两侧对称地排列着一级暗条纹、一级明条纹、二级暗条纹……当屏幕与单缝的垂直平分线 OP 垂直，并相交于 P 点时，单缝上的各点发出的光波在点 P 处互相加强，形成亮点。若从单缝边缘 A、B 两点发出的光波到达屏幕上 P 或 P 点为暗点。同理，从狭缝 A、B 两点发出的光波到达屏上某点 M 的光程差为 $3/2\lambda$ 时，M 点为亮点。

由 4-55 可以看出，当单缝的宽度 a 小于 OP 时，A、B 两点发出的光波到达屏上各点的光程差 $\delta=a\sin\theta$，θ 为屏上各点与 OP 之间的夹角，称为衍射角。当

$$a\sin\theta = 2k\,\frac{\lambda}{2},k=\pm 1,\pm 2,\cdots$$

时为暗条纹。当

$$a\sin\theta = (2k+1)\,\frac{\lambda}{2},k=\pm 1,\pm 2,\cdots$$

时为明条纹。k 称为衍射条纹的级，屏幕上明暗相间条纹的位置是以 P 为中心左右对称的。

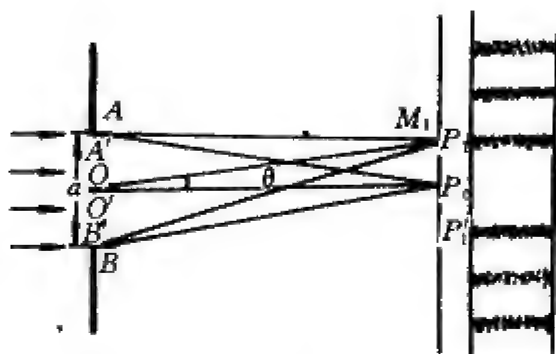


图 4-55

若用白光作光源，中央明条纹的中心是白色的，其它各级条纹均为彩色的。

必须强调指出，对于任意衍射角 θ 来说，AB 一般不能恰巧分成整数个波带。此时，衍射光束在屏幕上照度介于最明与最暗的中间区域。在单缝衍射条纹中，光强分布并不是均匀的，如图 4-56，中央明条纹（零级明条纹）最亮，同时也最宽（约为其他明条纹宽度的二倍）。中央条纹的两侧，光强迅速减小，直至第一级暗条纹；其后，光强又迅速增大为第一级明条纹，依此类推。

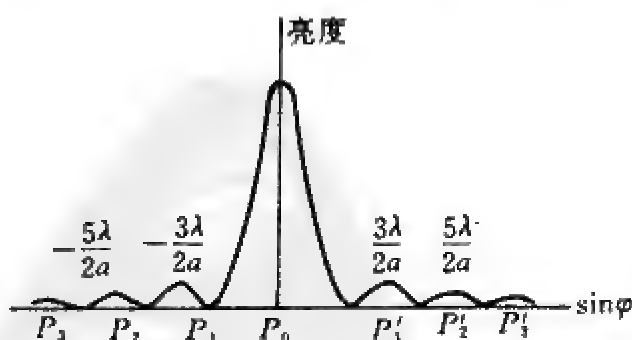
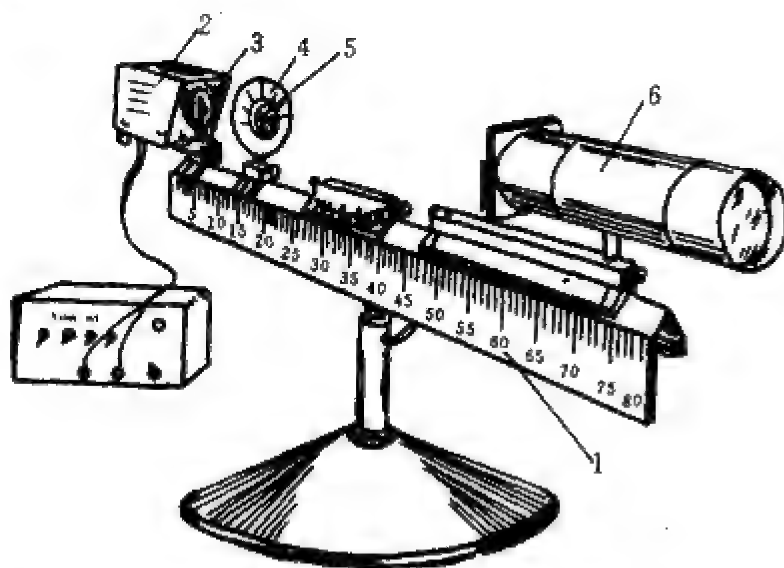


图 4-56

实验装置如图 4-57 所示。

(1)将光源插在第一个短滑块上。毛玻璃屏插在长滑块上，屏面与导轨垂直。点亮灯泡，转动光源，当出射光的光斑落在屏中央

时，将光源固定好。



1. 光具座　2. 光源　3. 光源单缝　4. 光具架　5. 单缝　6. 观察筒

图 4-57

(2)将缝宽为 0.11mm 的光源单缝套在聚光透镜的镜筒上。

(3)光具架插在光具座第二个短滑块上，并固定在距第一个短滑块(5～10)cm 的地方。光具架刻度面垂直光具座导轨。将衍射单缝装在光具架内，缝座上的指示刻线对齐光具架的零度刻线。

(4)演示时，将毛玻璃屏移近衍射单缝。转动光源单缝，使之平行于衍射单缝。当光源单缝与衍射单缝平行时，在毛玻璃屏上即可见到白光的单缝衍射图样。

(5)拿掉毛玻璃屏，换上观察筒，转动光具座让学生进行观察。

或者，利用线光源，让学生手持自制的狭缝，并隔着狭缝看线光源(缝与光源平行)，如图 4-58 所示，可看到一排由衍射而生成的彩色条纹。

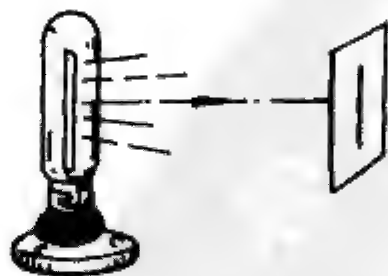


图 4-58

这里的单缝衍射，实质上就是夫琅和费(Fraunhofer)衍射。

二、杨氏双缝干涉

英国物理学家杨氏(T. Young)在1801年首先用实验方法研究了光的干涉现象。最初他做这个实验时是用两个小针孔实现了两束光的迭加干涉，后来重复实验才把孔变成了两狭缝。

如图4-59所示，在单色平行光前放一狭缝S，S前又放有与S平行而且等距离的两条平行狭缝S_1和S_2。两缝之间的距离很小，例如0.1mm，这时S_1和S_2构成一对相干光源。从S和S散出的光将在空间迭加，产生干涉现象。如果在S_1和S_2放置一屏幕EE(屏幕与两缝之间的距离约在0.4m左右)，屏幕将出现一系列稳定的明暗相间的条纹，称为干涉条纹。这些条纹都与狭缝平行，条纹间的距离彼此相等。实验结果是：干涉条纹以P_0点为对称点等距离分布而明暗相间，P_0处的中央条纹是明条纹。如用白光做实验，在屏幕上只有中央条纹是白色的，在中央白色条纹的两侧，由于各单色光的明暗条纹的位置不同，形成由紫而红的彩色条纹。

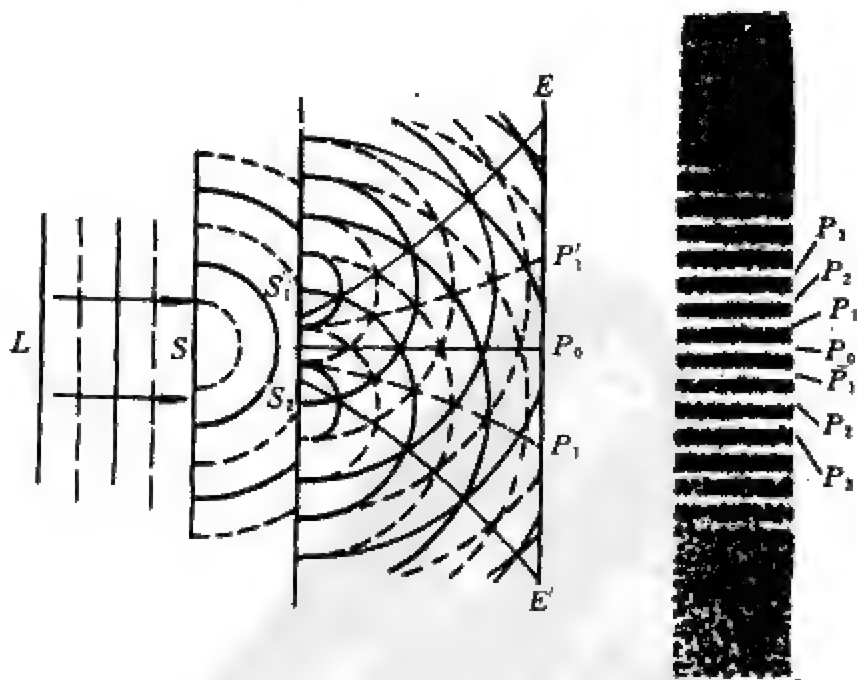
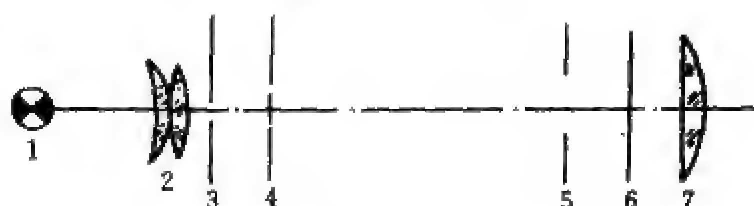


图4-59

用J2508型“光的干涉、衍射、偏振演示器”做双缝干涉实验，装置如图4-60，注意此时光路如图所示。



1. 灯泡　2. 聚光透镜　3. 单缝　4. 双缝　5. 光栏
6. 毛玻璃片　7. 放大镜

图 4-60

仪器调节的具体步骤是：

1. 调节光源位置

架好光具座，将光源插入第一只短滑块的插孔中，并固定在光具座刻度尺5cm处。把长滑块一端拉出导轨，在端点插入方毛玻璃屏，屏面与导轨垂直。用6V(或8V)电压点亮灯泡，转动光源，使出射光束的光斑落在屏中央，此时光源位于光轴上。若光斑上下偏离中心，可松开固定灯座的螺钉(在罩壳底部)，上下调节灯泡的位置。

2. 安装单缝

把宽度为0.11mm的光源单缝套在聚光透镜的镜筒上。

3. 安装双缝

把光具架插在第二只短滑块上，光具架刻度面垂直导轨，将双缝插入光具架内，缝座上的指示刻线对齐光具架的零度刻线。第二只短滑块固定在光具座(10～15)cm的刻度处。当仪器各元件的中心共轴得很好时，双缝离单缝还可以近些，以增加干涉明条纹的光强度。

4. 调节单、双缝平行

把方毛玻璃屏移插到中滑块上，离双缝40cm左右。光源灯泡的供电电压升高至12V(注意不超过12V!)。慢慢地转动单缝座，调节单、双缝平行，当单、双缝平行时，可在毛玻璃上见到清晰地干

涉条纹。

5. 观察双缝干涉图样

拿掉毛玻璃，在长滑块端点插上观察筒。学生即可看到白光所看到白光所产生的双缝干涉图样，也可以先把观察筒上放大镜取下来，让学生看一下在毛玻璃屏上的干涉条纹，然后再加上放大透镜。前后移动长滑块，改变双缝至屏幕之间的距离 L，可以看到相邻两条明条纹（或暗条纹）之间的距离 Δx 是不同的，L 变大，Δx 也变大，整个图样的画面变宽。

注意：①应慢慢转动光具座，让学生在座位上进行观察。

②光源用“12V，50W”卤钨灯泡，功率较大，切不可用 J1202 型或 J1201-1 型学生电源来供电，应使用专用的变压器电源供电。

三、用验电器演示光电效应

一九零五年，爱因斯坦在普朗克能量子假说的基础上，提出了光的本性的光子假说。爱因斯坦认为：光在发射、吸收以及在空间传播时，并不是连续不断的波，而是一个一个的物质微粒。一束光是一束以光速 C 运动的粒子流，这些粒子流称为光量子或光子。当光子照射到金属上时，它的能量被金属中的某个电子全部吸收。电子吸收了光子的能量后，增加了自己的动能。如果电子的动能大到足以金属原子对它的吸引力，就可以离开金属表面逃逸出来成为光电子，这就是光电效应。如果用另一个金属作阳极，并在光阴极与阳极之间加上一个正向电场，则就有光电流通过。

根据能量守恒定律，从金属表面逃逸出去的光电子，最大的初动能为

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - W。$$

这个方程叫爱因斯坦光电效应方程。式中 m 为一个电子的质量，V 为电子离开金属表面时的速度，$h\nu$ 为一个光子的能量，$h=6.63\times10$ 焦耳·秒，称普朗克常数，ν 为入射光的频率，W 为电子

的逸出功（对于某种金属材料，逸出功 W 是一个定值）。

从上式可知，要使光阴极发射光电子，入射光的频率 ν 必须满足 $h\nu > W$。这就存在着一个产生光电效应的最低入射频率。这个最低的频率称为极限频率或红限频率 ν_0。不同金属材料有不同的逸出功，红限频率 ν_0 也不相同。逸出功小的碱金属红限频率在可见光范围内，而大多数金属的红限频率在紫外区域。用小于红限频率的光照射，不管光的强度如何，光阴极不会发射光电子。大于红限频率的光照射时，即使光很弱，但每个光子具有的能量 $h\nu$ 总是大于逸出功 W，光阴上金属电子吸收了光子的能量后就能从金属表面逃逸出来成为光电子。而且金属电子把光子的能量一次全部吸收，瞬时动能就增加了，无须累积能量的时间，所以光电子也在瞬时发射出来。

用大于红限频率的光照射光阴极，增加光强就是增加光子的数目，单位时间里就更多的金属电子捕获到光子，发射光电子的数目也就增多，光电流就增大。

这个实验在教室里实际演示时，成功率不高。这里原因比较多，主要是：

①光源问题；

②光电子不易逸出金属板（金属板的电场对光电子束缚作用较大）；

③验电器的灵敏度问题。

对于光源，一般选紫外光源比较好，电离作用较强的伦琴射线管，不宜使用。这里介绍安忠、刘炳昇教师在《中学物理实验教学研究》一书中所介绍的几种方法。

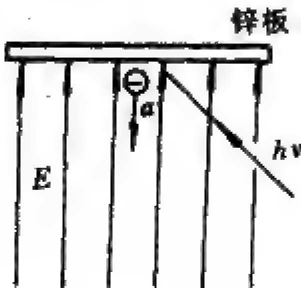


图 4-61

1. 用附加电场的方法

为了减弱锌板电场对光电子的束缚作用，在锌板附近设置一带正电的物体。这样，当紫外光照射锌板时，逸出的光电子就可以在附加电场的作

用下挣脱束缚，如图 4-61 所示。

与此同时，由紫外线对空气电离产生的负离子也可以被清扫，锌板的电势就能够上升到使验电器指针张开的程度。

整个实验装置如图 4-62 所示，由电源、验电器、带绝缘座的锌板、带绝缘座的金属网（或有机玻璃棒）、起电盘等组成。

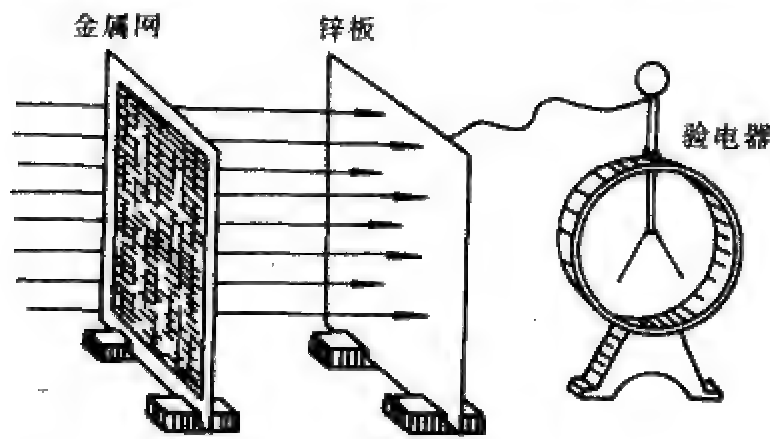


图 4-62

光源应包括紫外光和白炽光源两种。用（15～20）W 的紫外杀菌灯，安日光灯的线路安装在固定的架子上，同时装一只白炽灯泡。如图 4-63 所示。

如果有现成的弧光灯可以把聚光罩前的玻璃透镜拿去（不要把金属罩下掉）作为紫外光源使用。

演示时，按如下步骤进行：

（1）使金属网先带正电荷。

（2）把与验电器相连的锌板放在金属网后面的适当距离处，使验电器的指针刚好要偏转而又未偏转。

（3）打开紫外光灯开关，用紫外光照射锌板，可以看到验电器指

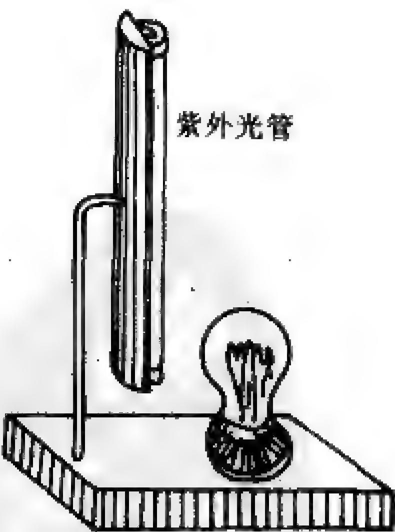


图 4-63

针很快就偏转张开。

(4)用白炽灯光照射锌板，尽管灯光的照度增大，照射时间增长，却不能使验电器指针偏转。这正验证了光量子理论。

为了简便起见，实验中还可以不用金属网，把锌板放在紫外灯前，再把带正电的有机玻璃棒放在验电器旁的适当距离处，由它来建立附加电场。点亮紫光灯后，验电器的指针同样能够偏转。

用两只验电器演示效果也很好。一只验电上插锌板，一只验电器上加上铜网，如图 4-64 所示，首先给加铜网的验电器带正电，然后再用紫外光照射锌板，可以看到，带正电的验电器指针张角减小，而带锌板的验电器指针张角变大。由此可以说明锌板中有电子逸出，并移向带正电的验电器铜网，使部分正电荷得到中和。

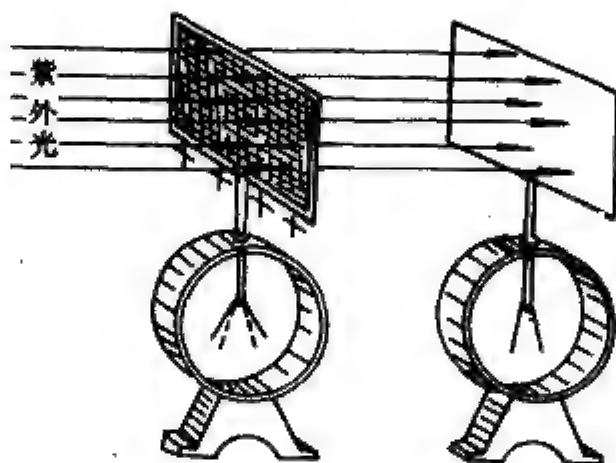


图 4-64

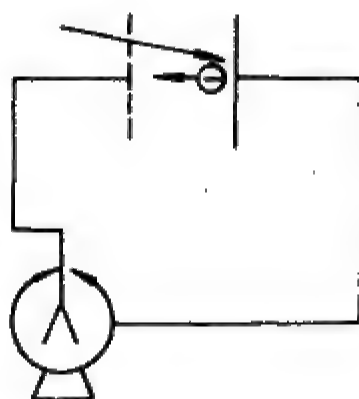


图 4-65

2. 用锌板接地的方法

如果用一张锌板和铜丝网组成电容器，把锌板接地，铜网接在验电器的导杆上，并使铜网带上正电荷，这样，当紫外线照射在锌板上时，电路中就会有瞬时电流产生。等效电路如图 4-65 所示，验电器的指针张角就会变化，因此，同样可以说明光电效应。

演示时，按如下步骤进行：

(1)把铜丝网板插在验电器导杆上，并用起电盘给它带上正电荷。

(2)用紫外光照射铜网，可以看到验电器指针张角没有变化，然后手持锌板，移至铜网后方，使紫外线照射在锌板上。此时可以看到，验电器的指针逐渐闭合，如图 4-66 所示。说明锌板中有电子飞出，正与铜网上的正电荷中和。

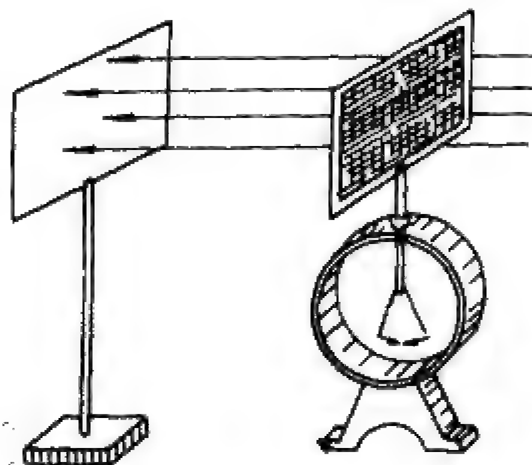


图 4-66

3. 打开白炽灯照射，没有发生上述现象。

为了确保实验成功，要注意如下几点：

(1)验电器与所有仪器绝缘支座部分都应保持良好的绝缘性能。

(2)锌板使用前应用砂纸将表面打磨光洁，如果没有锌板，也可以用铝板代替，但也同样应打磨光洁。

(3)紫外光源应加防护罩，或让学生透过讲台上的平板玻璃观察现象，以防止紫外光伤害学生的眼睛。

【思考题】

1. 怎样利用前面介绍的自制教具来进行演示实验教学？请自行拟定实验方案。

2. 利用 J2508 型“光的干涉、衍射、偏振演示器”做光的衍射与干涉实验，如果想拍一张衍射和干涉照片(直接用相纸感光)，应该怎样做？

第五章　教具制作的意义及基本加工技术

本章先探讨教具制作的重要意义、教具制作常关心的几个基本问题。然后从教具制作的实际出发，主要介绍教具制作中常用的基本加工技术：小金属加工技术；玻璃加工技术；有机玻璃板的加工技术；粘接技术。

§5.1　制作教具的意义

《中学物理教学大纲》明确指出："要发动学生和教师一起自制教具"。

我们认为，提倡自制教具，不仅仅是教学条件困难才自制教具，即使办学条件好的重点中学也该重视自制教具。

自制教具仪器是古往今来历代科学家的优良传统。任何一个科学预言必须用实践来检验。物理学许多重大成就在许多情况下就是伴随着仪器的成功设计而诞生的。物理学家正是用一些简单明了的演示实验来说明自己的深刻思想。例如17世纪末，英国物理学家雷恩(Christopher Wren 1632～1723)就曾用两个小玻璃球在英国皇家学会表演过碰撞实验，探索动量守恒的奥秘。最先证明电是一种电现象的富兰克林(Benjamin Franklin 1706～1790)，他曾收到过他的一位朋友科林逊(Nicholson 1753～1815 植物学家、英国皇家学会会员)寄来的一个新奇的瓶子。这个瓶子用玻璃制成、内壁与外壳上都粘有金属箔片。经过十年研究，他阐明了这个后来被命名为莱顿瓶的作用，发明了电容器。这以后，又由英国物理学家威廉·汤姆生(William Thomson 1824～1907 电信工程师

领导铺设了世界上第一条大西洋海底电缆)发现了莱顿瓶的振荡放电理论,推算出了振荡频率,成为电磁振荡理论的开端。

在中学物理教学课堂上,国外很重视学生自己动手自制仪器。例如英国 Tom Decan 著的中学物理教材中,他在讲述胡克(Hooke Robert 1635~1703)定律时,就要求学生用新的裸铜线自制弹簧秤。他要求每个学生用 1m 左右铜丝,在圆铅笔上绕(25~30)圈然后每次用 10 克砝码将弹簧拉长,做出记录。由此总结出胡克定律的基本思想。

教师用自己制作的教具与使用厂家生产的教具来讲课,教学效果是不一样的。使用厂家制造的仪器,固然比较规范、比较精致美观,但是,使用自制的教具,却可以更能让学生看到仪器的内部构造,了解仪器的工作原理。另外更重要的是:当学生看到那些用生活物品与身边的常见材料来做实验,会使学生觉得物理离自己更近,容易激发学生热爱物理、热爱科学的情感。

鉴于我国目前中学物理实验教学现状,自制教具既可以培养学生的创造能力和开阔学生思维,也是解决当前仪器不足的有效途径。所以在任何条件下物理教师应该亲自动手自制一些教具,不断改进实验条件。即使将来教学条件有所改善,这一传统也绝不能丢掉。重视自制教具的作用也是物理教学中一条重要指导思想。

§5.2 制作教具的几个基本问题

一、教具制作的基本要求

教具制作不仅仅是一种模仿性的工作,相反教具制作中含有较多的创造性。教具制作过程中有那些具体要求呢?

1. 启发性

制作的教具应该有丰富的物理学思想,有启迪学生的思维。有

利于培养学生的创造能力。我们反对把重要的物理原理无法展现(或不重视展现)在学生面前,学生看了实验却一无所知,一无所获。我们提倡让学生能看懂它所需要演示的物理道理。

2. 经济性

我们要求自制的教具少花钱或不花钱,这样教具成本低,只要能达到演示效果就行。所以,我们提倡"坛坛罐罐当仪器,拼拼凑凑做实验"。

3. 可靠性

我们要求自制的教具能坚固耐用、不易损坏;安全可靠、工作稳定。我们做的教具并不是只做一次实验就不要了,也不是只求偶尔成功一次。教具应该重复性能好。

4. 可观性

教具是演示物理现象给全班同学观察的,不是一个人拿在手里的袖珍玩具。所以自制教具尺寸应该尽可能大一点。用八个字可以概括"尺寸够大,简单明了"。

二、怎样设计自制教具

说起来容易做起来难,真要动手时,又不知从何处着手(不少教师为此而产生畏难情绪)。

自制教具之前首先要设计一下。设计时应注意:

(1)不要脱离中学物理教材。脱离了中学物理教材,任何具有深奥物理原理的仪器,都会在中学课堂上失去光辉、失去意义。

(2)不要放弃一点一滴的改进。前人已经有了许多这方面的研究,各种资料都有许多介绍,但是只要我们抓住某一点或某一个方面进行改进,也可以得到收获。例如:在趣味性方面着手,可以增加学生学习兴趣,刺激学生的兴奋神经,产生深刻印象,提高学生学习物理科学的积极性。又例如:在制作材料上下功夫,如果能使学生唾手可得,显然具有推广意义。再例如:在启发性方面着手,可以展示物理过程,让学生揭示物理现象发生的步骤。

(3)不要超出自己制作能力的范围。一切从实际出发，量力而行。否则一旦动手之后，难以为继。

三、教具制作材料来源

自制教具需要材料，怎样解决这个问题呢？我们提倡：制作教具的材料应该是日常生活常见物品或废弃物品。除非不容易得到的材料和重要部件，才可以购买或用实验室其它仪器充当。

归纳起来，有四个字：找、拣、要、买。

找——生活中时时留神，处处寻找。例如：找来旧火柴盒做物体稳度实验；找来废牙刷柄做电荷间相互作用实验；找来玻璃球做碰撞实验……

拣——在垃圾堆拣破烂，在工地拣废料。从垃圾箱里拣来旧罐头盒，麦乳精盒做滴水发电实验；拣来塑料瓶做液体压强演示实验；拣来钢筋，铁丝等也有用处。

要——向有关单位和个人要一些少量报废的东西。向水电工要废旧日光灯管；向医务室要废针头，废药瓶；向办公室工作人员要废椭圆形墨水瓶，腊纸筒……

买——能不买的尽量不买，有些找不到又不宜制作的物品才花少量钱去买。例如：磁铁、电阻、电容等。

§5.3　小金属加工技术

在实验制作中，通常要跟铁皮、铝片等金属打交道，这里简单介绍一下加工的基本技术。

一、剪切

用手工剪切的金属板材，通常为厚度在0.7mm以下钢板、1mm以下的铜板或铝板。

剪切时，右手持剪，左手持料，眼睛要能看见板材上画的剪切线，参看图 5-1(a)、(b)。剪切时要尽量使用剪刀的靠近支点的剪腰，减少使用剪头，这样既省力，又可以不使剪料变形。

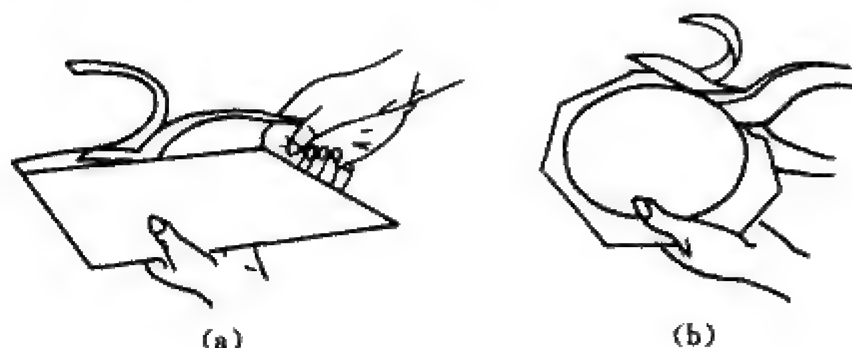


图 5-1

二、整形

整形是将已经形变的板、轴、杆条用手工方法恢复原状。

1. 变形金属板的整形

变形金属板是指由于各种原因造成的金属板凸凹不平，整形的目的就是使其平展。中部凸起，四周平整的金属板，可用锤由中间向四周逐渐加力锤击。锤击时，金属板下面应垫有平板。对于中部平展，四周变形的金属板应先将周围变形部分敲击平展，再使整块板平展。

对金属板整形，要注意把金属板翻来倒去的观察，不然这边刚整形，另一边却又变形了。

2. 变形条材、轴的整形

对于变形的金属条材、轴进行整形，可将待整形物置于平板上，用手锤或木锤直接击打，击打时要注意变换击打方向，边击打边观察，如图 5-2 所示。

三、弯曲

将板材弯曲成直角，可将板材置于直角规铁上，使板材折线与

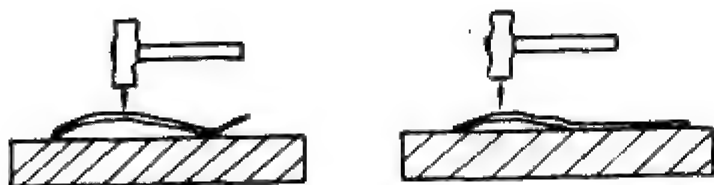


图 5-2

规铁棱角基本对齐，用木锤击打板材外露部分的根部。还可以将板材夹持老虎钳上，用木锤或手锤击打板材外露部分的根部。

四、锉

锉刀一般按形状可分为平锉、圆锉、三角锉、半圆锉等，这些锉刀用于加工不同外形的工件。平锉适于锉平面、外圆面、凸弧面。圆锉适于锉圆孔、凹弧面、椭圆面。三角锉适于锉内三角形、内直角等。

加工时，应根据材料硬度，加工精度来选用锉刀。如锉铜、铝、塑料件，可选用粗锉而不宜用细锉；对金属表面氧化层或带砂粒的铸造件只能选用粗锉。

为了防止工件在加工时变形，应将工件夹在老虎钳上，可在老虎钳上衬垫木片，纸板，防止工件受损伤。

五、锯

在金属加工中，锯的主要工具是钢锯，也叫做手据。手锯上做锯条长为 300cm，分粗、中、细三种齿别。安装锯条应使锯齿向前，保证锯工件时用推力工作。锯条安装不宜过紧或过松，否则容易断齿或断锯条。

加工时，一般应先将工件夹持在老虎钳上，用右手握住锯的手柄，再将左手置于锯条加工线条位置，待锯出(2～3)mm 的锯沟后，再将左手握住锯身，平直地推拉手锯，直至锯开为止。

使用手锯时，推锯应用左手对锯身施加压力。回锯时不得施力，应稍微提起锯身，减少锯齿磨损。

六、钻孔

钻孔是指在材料上打眼，这里材料既可以是金属材料，也可以是非金属材料。

小型钻孔加工一般使用的是手电钻。钻孔前要了解你的手电钻安装钻头大小的范围。其次，根据所要钻孔的直径来选用钻头，如果所要钻孔的直径界于两种直径钻头之间，应选用较小的钻头钻孔，再用锉刀扩孔。

所钻工件一定要夹紧，不宜用手夹持。为了保护钻头，钻件下方垫一块废木板，以防钻穿时钻头不碰硬物而损坏。待工件快钻穿时，进钻要轻、要缓。

在塑料或有机玻璃上钻孔，宜选用手摇钻。钻速不得过快，否则摩擦生热使钻屑溶化而阻碍进钻。

在金属板上钻孔，往往不容易进钻，钻头在金属表面上滑来滑去。为了便于进钻，可在钻孔的中心位置冲孔。用錾、钢钉等在孔中心敲一个凹坑，这样，钻头上去就不会打滑了。

§5.4 焊接技术

这里焊接是指用加热的方法使熔化的焊锡将金属部件连接起来。

一、常用焊接工具及焊料

1. 电烙铁

电烙铁靠电致热，按其致热方式分为内热式与外热式。内热式电烙铁一般功率较小，有 20W、25W、30W 等。外热式电烙铁则功率较大，有 75W、100W 等。此外还有一种吸锡电烙铁，它能吸去焊点上的锡，以便于取下无线电元件。

电烙铁的烙铁头按形状可分为直头和弯头。通常功率较小的电烙铁均为直头，功率较大的电烙铁为弯头。图 5-3 就是直头内热式电烙铁的示意图。



图 5-3

电烙铁的握持方法与手拿钢笔一样。注意暂时不用的电铬铁要放在烙铁架上，以免随处乱放会烫坏桌子或其它物品。

2. 焊锡

焊锡是以金属锡作为主焊料的锡合金，熔点较低。有的焊锡内芯贮有松香，使用很方便。

3. 助焊剂

助焊剂的作用是去除所焊工件表面的氧化层，油污等，同时具有助焊作用。使锡与被焊工件表面形成锡合金，使焊接牢固。

以前常使用盐酸、氯化铵、氯化锌、焊锡膏等作为助焊剂，这些助焊剂对烙铁头和焊点的元件有腐蚀作用，不宜多用。应多采用呈中性的松香作为助焊剂。

松香对元器件没有腐蚀作用，又能清除金属表面轻度氧化物。正由于此，对电器电路，仪表工件的焊接，只允许使用松香助焊剂。

松香助焊剂可直接使用，以可以将松香制成膏状。其方法是将松香碾成粉状，放入浓度为 95%的酒精溶液中，搅拌成糊状。为防止酒精挥发，可加入少许松节油存放待用。

二、上锡

上锡就是将诸焊件用锡连接起来的操作过程。

上锡之前应先对焊件表面进行处理。一般是用刮、磨、锉等方法将焊件表面氧化层或锈以及污物清除掉。这样会在焊件表面留下划痕和沟，增大锡与焊件表面的接触面积，使焊接处连接牢固。

焊件表面处理完毕之后，应对各焊件预上锡。预上锡是让焊件表面形成锡合金，使锡附着在焊件表面，这样既可以防止虚焊与假焊，也使正式焊接容易，快速。

晶体管(二极管，三极管)、集成块、集成块插座的引脚大都镀金或镀锡焊合金，一般不必进行表面处理即可沾上助焊剂直接进行焊接。这类半导体器件只能采用小功率的电烙铁焊接，并且在焊接时，应尽量减少电烙铁与焊件接触时间，否则这类元件易受热烧坏或改变原有工作特性。这类元件上锡时可采用风冷降温。或者边上锡边用口向焊点处吹气。

三、检查焊接质量

焊接中通常说的“虚焊”多数是因为没有进行预上锡而造成的。这种虚焊与假焊，看起来有锡在焊点上，但实际上锡与焊件并未接触良好，日久氧化严重或受振动，就会由于接触不良而导致信号时有时无，时断时续。

虚焊与假焊很讨厌，一般不容易检查出来，可轻轻摇动焊件，看焊件在焊点上是否焊牢。有时可以用万用表测量(用低电阻档)，一边摇动焊件，一边看万用表指针是否稳定在某一读数。若不稳定就要看是否虚焊或假焊。

防止虚焊与假焊的最好方法就是在上锡前进行表面处理并预上锡。

§5.5 玻璃材料加工

玻璃材料的加工是指将玻璃板材或管材加工制作成所需形状和尺寸。对于板材，这里仅介绍裁割与粘接；对于管材，主要介绍裁割与热加工。

一、玻璃板的裁割

裁割玻璃的主要工具是玻璃刀。玻璃刀也称金钢钻，由刀头和刀柄组成。玻璃刀头上装有比玻璃硬度高的钻石材料组成。玻璃刀的规格型号很多，有可旋转刀头和固定刀头的；有带口和不带口的；有裁割厚玻璃板和薄玻璃板的。

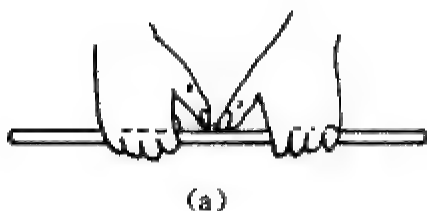
裁割平板玻璃时，先在玻璃上划好标记，若裁割直线可用直尺对齐划线。因为玻璃刀的刀尖与边缘的距离约 2mm，故下刀时应将直尺向外退出 2mm。裁割时应右手持刀(与左手持钢笔相同)，右手压尺，使玻璃刀侧面靠在木尺上划割。

玻璃刀在玻璃上留下的只是刻痕，并没有将玻璃割穿。因此裁割玻璃时只要在玻璃上留下刻痕即可。应尽量避免在同一处划数刀，否则会留下不重合的刻痕，在扳断时会使裁割线不整齐。

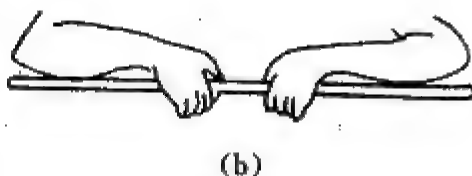
划好刻痕后，先沿桌边对齐划痕，然后用力沿刻痕处扳断玻璃板。若刻痕太浅，不易扳断玻璃板，可以沿刻痕在玻璃板边缘和中间，用玻璃刀刀柄或钢丝钳头部，从玻璃板反面向上轻击，至击出裂纹后再用力扳断玻璃板。

二、细玻璃管的裁割

这里所说的细玻璃管，是指口径 30mm 以下的玻璃管。裁割时，先用玻璃刀或三角锉(或医用小砂轮)在需要切割处刻痕。对于 13mm 以下的玻璃管，用两只手的大拇指抵住刻痕的对面，速用力折断，如图5-4(a)所示。对于口径在(13～30)mm 的细玻璃管，刻痕最好划深一点，然后两手虎口相对握住玻璃管上划痕的两边，用力来回折几下，直至折断，如图 5-4(b)所示。



(a)



(b)

图 5-4

初学裁割玻璃管的人，可以用废布垫在手持玻璃管处，以防玻璃划破手。

三、粗玻璃管的裁割

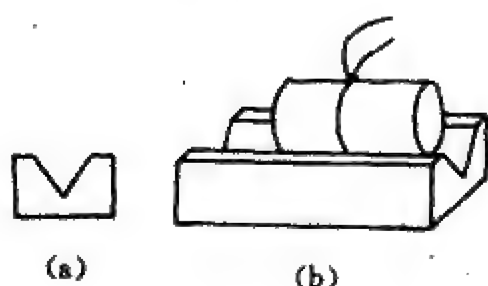


图 5-5

对于口径在 30mm 以上的粗玻璃管以及玻璃瓶，采用电切割的方法最为可靠。

取一个带 V 形槽的固定支座，在槽口中部锯一条细槽，以备电炉丝穿绕玻璃管之用。如图 5-5 所示。裁割前先划出刻痕，然后用一段约 20cm 长的(300～500)W 的电炉丝，绕瓶一圈并拉紧，要求电炉丝准确地接触刻痕。为了防止电炉丝在接口处碰线短路，可在电炉丝两端接口处穿一小瓷柱。

用一调压变压器，降压至 15V 以下，通电后看到，凡未与玻璃管接触的电炉丝已烧红，而与玻璃管接触的电炉丝则不见发红或暗红。有时能听到玻璃管裂开的声音，如果未裂开，可在裁割处倒些冷水，玻璃管就会沿痕裂开。

如果没有调压变压器，使用额定电流 5A 以内的低压电源也行。

四、玻璃管热加工的工具及作用

通常情况下，玻璃管的热加工的工具是喷灯。

热加工玻璃管的火焰分为烟焰、粗焰和锋焰三种。烟焰是燃料过多而氧气不足形成的。它温度低，多用于预热或逐渐冷却工作。粗焰宽而燃烧完全，温度稍高，适于给玻璃管大部分均匀加热用。锋焰是形状尖细，温度极高的火焰，它是在氧气充足下燃料完全燃烧，只是在特别加热工件上的某一小部分需要高温时使用。利用喷灯，可以调节出以上三种火焰，基本上满足玻璃管热加工的要求。

五、玻璃管热加工时的注意事项

玻璃管的导热性能差，必须在加工时均匀受热。否则，往往会在刚一开始加热，或离开火焰，甚至加热过程中离火一段时间后，玻璃管可能会自行断裂。因此要注意以下几点：

1. 预热过程

先将玻璃管需要加工的部分及其周围在烟焰或粗焰上往复扫过均匀烘热，再停留在火焰上转动加热数秒钟后，才能放在温度高的火焰上去，即使在工作进行中，每次离开火焰之后，要经过适当预热才可再放回高温火焰上去。

2. 冷却过程

在加工完毕后应采取与预热相反的步骤，使玻璃管各部分在火焰中均匀加热升温，到玻璃红热而能维持定型时，再在低温火焰中降温，最后才能移放到无风处自行冷却。

3. 加工时握持玻璃管的要求

玻璃管在火焰上加热时，要求均匀不停地转动，而且经常要从一端吹气。如果以左掌向下，右手掌向上，并用大拇指与食指旋转，如图 5-6 所示。可以将玻璃管较长的一端放在左边，使左手承受大部分重量，这样右手就便于将玻璃管右端转过来吹气。

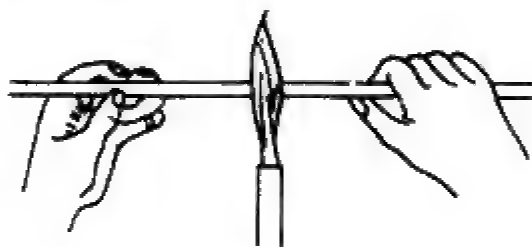


图 5-6

两手匀速而同步地转动玻璃管是很重要的，但也是最困难的。初次加工两手动作有先有后，常常不能谐调一致，而且很难始终在同一轴线上转动。因此玻璃管一经软化，就会发生扭曲，折叠现象。为此，平时可用废玻璃管多加练习。

六、玻璃管的热加工基本技术

1. 拉伸

有时需要把玻璃管拉细和拉尖，先将玻璃管放在粗焰上加热，要不停地转动，等四周都均匀软化后，离开火焰慢慢向两端拉伸，如图 5-7 所示。拉伸时，仍要不停地使玻璃管均匀绕轴旋转，要求拉成的细管管径均匀。并与玻璃管原轴对称。注意两手谐调一致动作，不然软化部分由于旋转不均匀而拧成了麻花状。

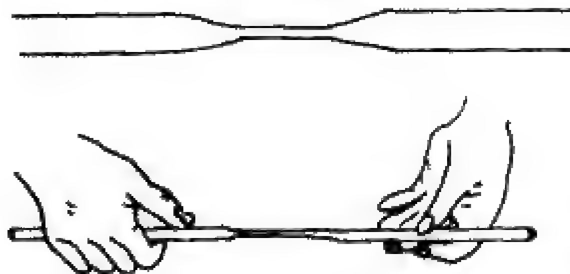


图 5-7

如果要将拉细的一端再拉尖，可将这一端管口照上法加热软化，然后离火用镊子再拉细一次，待冷却后用三角锉在需要截断的地方轻锉一痕，即可折断。

2. 弯曲

仍将玻璃管放在粗焰上旋转加热，不必烧得太软，只要加热到刚开始软化，而还有相当韧性时，就可以弯曲了。管壁厚而细的玻璃管可以放在低温上，在管壁软化进用手轻轻用力折弯，如图 5-8 所示。

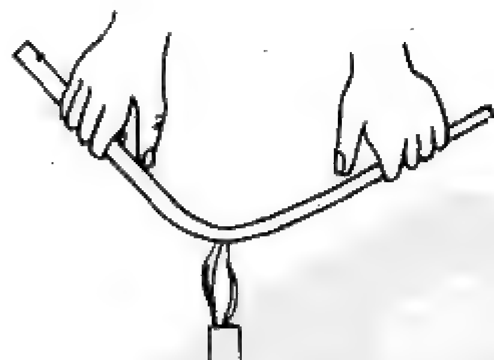


图 5-8

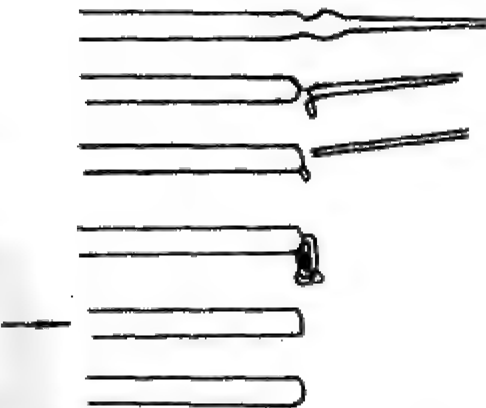


图 5-9

管壁薄而细的玻璃管，使另一端自行向下弯曲。在弯曲管壁薄

而口径粗的玻璃管时，由于周围温度不能始终保持均匀，因此常出现高低折叠等现象。出现有缺陷的玻璃管，用锋焰尖对准折叠处加高热，使它充分熔融而自行收缩，并将管壁一端堵塞从另一端吹气，反复校正，可以恢复管壁圆滑。

3. 封口

给玻璃管一端封口，先要经过拉细手续，然后用锋焰在细颈适当的位置烧一圈，这样玻璃管就会自行收缩形成细颈。用锋焰再烧细颈，并旋转使细颈完全封闭，缩成一粒红热的玻璃珠，可用镊子拈去小珠。这时改用较宽的锋焰将管底旋转加热，使其熔融微红。再离火吹气，形成均匀的圆形管底。如图 5-9 所示。

§5.6　有机玻璃板的加工

有机玻璃板表面光滑，透明，不易破碎，绝缘性能好，加工的成品大方美观，也比较容易进行手工加工。

一、有机玻璃板的裁切

裁切有机玻璃板一般采用三种方法：

1. 锯割

对于厚度在 4mm 以上的有机玻璃板，可以直接划线用手工钢锯裁割。

2. 划切

用手工钢锯条在砂轮上磨一把带钩的划刀，如图 5-10 所示，作为划切的工具。握住划刀沿着待加工的直线反复向一个方向划切，开始划切时为了保证直线可使划刀靠在一直尺上划，直到有机玻璃板上划出一道深痕。翻过来在同一直线处再划一深痕。按图 5-11 所示，将有机玻璃的切痕处移至桌边，用手向下轻轻一扳，即可将其断开。

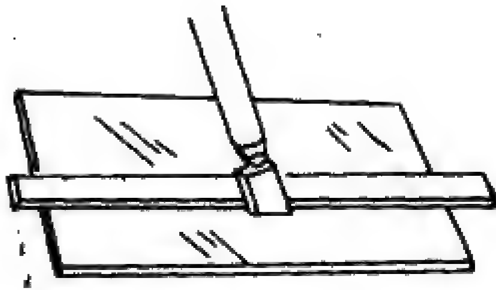


图 5-10

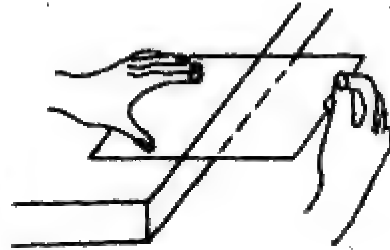


图 5-11

3. 热切

如果需要在有机玻璃板上加工比较复杂形状的孔或曲边，可以把一段电炉丝拉直并固定在弯弓上，用调压变压器调节输出电压在 10 伏以下使电炉丝微红，使电炉丝沿预先画好的待加工线移动，即可加工出所需要的形状来。

二、有机玻璃板的粘合

有机玻璃板在粘合之前，首先要做好表面处理工作。

粘接表面要尽可能平整。如果在接头处确实有较大缝隙，可以填补一些有机玻璃胶(参看后面“粘接技术”中有关内容)。

粘接的接头处必须首先设计好，按照设计要求保证粘接处牢固稳定。

有机玻璃板表面的抛光，可用绒布沾少许抛光膏反复研磨，也可用牙膏加水调合后代替抛光膏使用。抛光后可以使有机玻璃表面光洁，透明度提高。

§5.7 粘接技术

在加工制作过程中，能掌握好粘接技术，一定可以使你的工作提高效率，提高质量。

什么是胶粘剂呢？胶粘剂就是可以把各种材料紧密粘合在一

起的物质。自然,采用胶粘剂来进行连接的技术就是粘接技术。

粘接技术是一项新工艺,新技术。它能部分代替焊接、铆接和螺栓连接。将各种金属和非金属构件牢固地连接在一起,且可达到较高的强度要求。并具有工艺设备简单、操作方便、成本低廉、适用范围广、密封防腐性能好、耐疲劳强度高等优点。它的不足之处是:粘接层的抗剥离强度较低,耐热性不高(一般 150℃,最高 300℃)等。

一、正确选择胶粘剂

根据粘接的具体情况,要正确选择胶粘剂。胶粘剂选择得好,一次粘接就可以成功,若选择的胶粘剂不适当,很可能反反复复失败多次,有时甚至于毁坏了工件。

选择胶粘剂,通常根据以下四点:

1. 根据被粘材料化学性质选择胶粘剂

粘接钢、铝、陶瓷等极性材料时,应选用极性强的粘胶。如环氧树脂胶,聚氨脂胶,丙烯酸脂胶,无机胶等。

粘接聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等弱极性或非极性材料,应选择丙烯酸脂胶或能溶解被粘材料的溶剂。如三氯甲烷、二氯乙烷等。

2. 根据被粘材料的物理性质选择胶粘剂

粘接陶瓷、水泥等脆性或刚性材料,应选用强度高、硬度大的不易变形的热固性树脂粘胶剂。如环氧树脂胶、酚醛树脂胶。

粘接橡胶、皮革、塑料薄膜等弹性或硬性材料,应选择弹性好、有一定韧性的胶粘剂。如氯丁胶、聚氨酯胶。

粘接多孔性材料,例如泡沫塑料、海绵、织物等,应选择粘度较大的胶粘剂。如环氧树脂胶、聚氨脂胶、聚醋酸乙烯胶、橡胶型胶粘剂。

3. 根据被粘件使用条件选择胶粘剂

被粘件受剥离力与不均匀扯离力作用时,可选用韧性好的粘

胶。如橡胶胶粘剂、聚氨酯胶等。

在受均匀扯离力、切力作用时，可选用比较硬、脆的胶。如环氧树脂胶，丙烯酸脂胶等。被粘件要求耐水性好的胶，有环氧树脂胶、聚氨酯胶等。耐油性好的粘胶有酚醛——丁腈胶、环氧树脂胶等。

4. 根据被粘件的使用温度选择粘胶

不同的粘胶，使用环境的温度有差异。如环氧树脂胶适宜在120℃以下使用；橡胶胶粘剂适宜在80℃以下使用；有机硅胶适宜在200℃以下使用；无机胶适宜在500℃以下或高达1000℃以上使用。

二、影响粘接质量的因素

究竟有哪些因素影响粘接强度？我们在粘接前应该从下面几个因素考虑。

①粘接件表面粗糙比表面光滑粘接效果要好。这是因为表面粗糙实际上是增大了粘接面积，粘接剂较易保留在表面细孔中，提高了粘接强度。表面粗糙的工件经粘接后，能承受的剥离力比表面光滑的粘接工件要大得多。但要注意，粘接件不允许有太大的凸凹不平。

②粘接件表面不应该有较多水分，从而导致在粘接过程中凝集于粘接表面，使粘接强度降低。

③胶粘层的厚度过厚与太薄都会使粘接强度下降。不同类型的胶粘剂，要求胶层厚度不同。大多数合成胶粘剂以(0.05～0.10)mm为宜，无机胶粘剂以(0.1～0.2)mm为宜。

④固化温度影响粘接质量。对于一般室温下固化的胶粘剂，适当升高温度可以加速粘接反应，有利于提高粘接强度。但是高于固化温度太多，却使胶层变得过薄甚至缺胶，导致粘接强度下降。

⑤粘接时的压力大小对粘接质量影响较大。通常在一定范围内，压力不足或者加压不均匀，会使胶层出现疏松孔洞，从而影响粘接强度。对于固态胶粘剂，增大粘接压力有利于提高粘接强度。

⑥粘接的材料性质不同，同种胶粘剂的粘接强度不一样。

三、粘接工序及表面处理

粘接工艺一般按以下程序进行：

①制定粘接方案；

②胶；

③清洗被粘材料；

④设计和加工粘接接头；

⑤表面处理；

⑥被粘面的漂洗和干燥；

⑦配胶和涂胶；

⑧粘合装配；

⑨固化；

⑩粘接质量检验。

由于要求被粘件有最佳表面状态，使胶粘剂形成的粘接力超过胶层的内聚力，所以必须重视被粘件的表面处理。

例如玻璃、陶瓷在表面处理时，可用水和金刚砂磨蚀，再用乙醇溶剂清洗。

例如被粘件是普通橡胶，应先用砂布打磨，以木锉粗化，刷去砂粒，用溶剂涂抹。

例如对于有机玻璃、聚苯乙烯等，在表面处先用100号砂布打磨，再用甲醇或异丙醇等溶剂清洗。

例如铜、铁金属被粘件，应先用硫酸(100～150)g/ml，在(20～30)℃下浸泡(0.5～1)分钟(用盐酸亦可)。

例如铝合金，应先在10%氢氧化钠溶液中浸泡1分钟，再在硝酸中浸蚀约(0.1～0.2)分钟。

四、粘接接头的设计

所有复杂的粘接接头，都可以简化为四种基本形式，参看图

5-12。

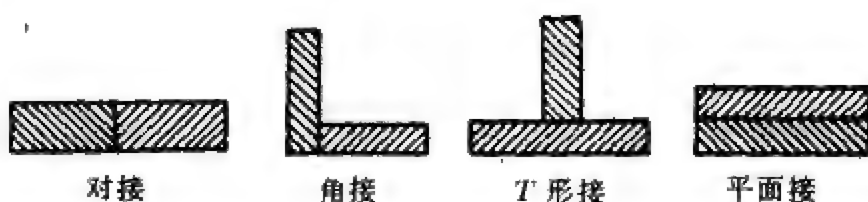
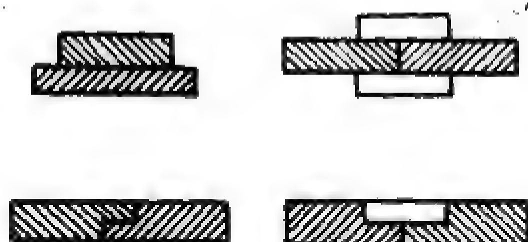


图 5-12

1. 对接接头



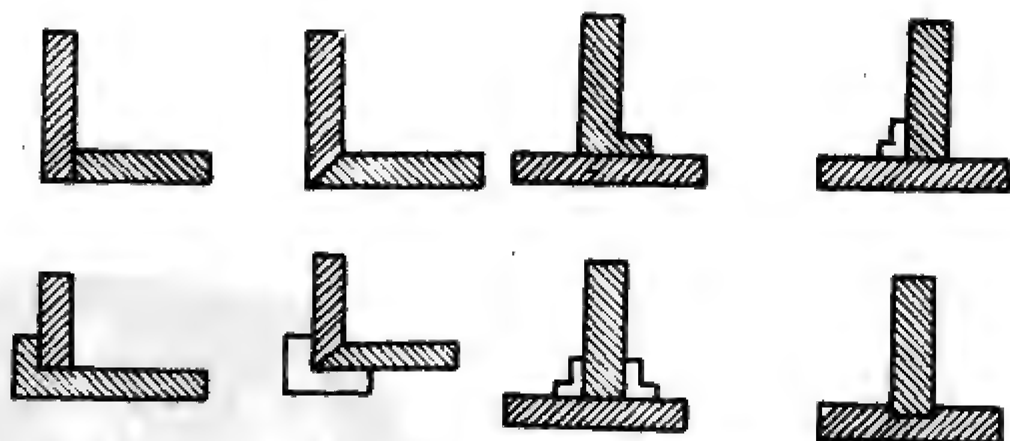
对接接头的改进

图 5-13

对接的粘接面积小，除拉力外任何方向的力都容易形成不均匀扯离而造成应力集中。所以粘接强度很低，一般不采用。如果需要时，对接接头可采用改进形式，如图 5-13 所示。

2. 角接接头

这种粘接面积小，并且所受的力是不均匀扯离力，所以粘接强度低，应避免采用。必须采用时应采取一些组合的改进形式，如图 5-14 所示。



角接接头的改进

图 5-14

T 形接头的改进

图 5-15

3. T 型接头

这种接头粘接强度更低，一般不采用。实在需要粘接时，最好按图 5-15 改进形式为宜。

4. 平面粘接

这种粘接面积大，强度高。只要按正确方法粘接，一般粘接强度都能达到要求。

五、几种常用的粘胶剂的使用

1. 环氧树脂胶

可以用来粘接不易被有机溶剂溶解的材料。如金属、玻璃、胶木等，通常称它为"万能胶"。环氧树脂胶具有粘接强度高、耐化学介质性好、耐温性能好、胶层收缩率小、可在室温下固化、施工工艺简单等优点。

环氧树脂的品种有多种，使用时参看产品说明书。这里介绍一种自然干燥的配方。

粘接料	环氧树脂	100 份
填充料	与粘件性质相近的粉料	100 份
增塑剂	磷苯二甲酸二丁酯	20 份
硬化剂	乙二胺	8 份

配制时先将环氧树脂加热到(70～80)℃，放入填充料和增塑剂调匀。待冷却到 50℃ 左右放入硬化剂，不停地搅拌(用一根小棒沿一个方向)并驱赶气泡。待十几到二十几小时后即可硬化粘牢。

2. 有机玻璃制品粘接剂

配方一：

有机玻璃粉末	10 份～15 份
二氯乙烷	70 份
四氯化碳	(15～20)份

配方二：

有机玻璃碎片	5 份

氯仿　　　　　　　　　　95 份

这两种配方在粘接时工艺如下：

①清洗：用无水乙醇清洗被粘接面，晾干；

②配胶：按配方规定量混合调匀；

③涂胶：将配好的胶粘剂涂于有机玻璃制品双面粘接面，然后装配施以接触压力；

④固化：70℃ 下放置(6～10)小时或室温下放置 24 小时。

3. 通用双管胶

市场上销售的这种胶粘剂，适用于金属、塑料、胶木、木材、玻璃、陶瓷等制件的本身与相互间的胶接。该粘胶工作温度(20～130)℃，它耐油，耐水及其它介质。

使用方法是：

①首先将涂胶面上揩净，用丙酮或无水乙醇清除去表面油脂；

②把双管胶盖打开，挤出等量粘胶料，混合均匀；

③涂胶在粘接面上，室温下加压固化。

4. "502"胶

这是一种市场上有售的有机胶粘剂。用它涂于待粘接面上时，遇空气微量水或弱碱的催化作用，在室温下立即发生催化反应，把物体粘牢。

此胶适合于粘合铝、铜、钢铁、铬镁合金等金属，以及橡胶、硬塑料、聚苯乙烯、酚醛塑料、玻璃、陶瓷、骨骼、尼龙丝、有机玻璃等非金属材料。但不适用于多孔性材料(如纸、皮革、软木料)和未经表面活化处理的聚乙烯、聚丙烯、聚四氟化乙烯塑料。

在使用前必须对待粘接件表面处理。金属材料先用砂布除掉锈污，再用乙醇、丙酮或醋酸乙酯洗擦去油污；非金属材料需将表面脱膜剂层打磨掉，再用三氯乙烯或其他溶剂擦洗干净。

经过表面处理之后，再将胶液涂在表面上。立即定准位置，稍施压，几秒钟或几分钟内即可粘牢。

使用这种胶时，需要注意以下事项：

①用胶不宜多，胶层厚度若大于0.1mm，强度反而下降。

②用此胶粘合的物体不宜放在水中或碱液中使用，温度也不可超过150℃。

③不可用手直接接触胶液。若不慎将胶液滴到手上，切不可强行撕裂。应以大量的水冲洗，再用丙酮擦洗。若将胶液溅入眼中，应先用水冲洗，用涂油脂眼药膏，以加速脆落。

5. 尼龙胶粘剂

配方：

环氧树脂	100份
聚酰胺树脂胶	(60～80)份
环氧氯丙烷	(5～10)份

用途：适用于尼龙与尼龙，尼龙与铁粉芯，聚乙烯与聚乙烯，聚乙烯与金属间的粘接。

6. 橡胶制品胶粘剂

配方：

纯苯	93份
丙酮	0.53份
四氯化碳	1.22份
松香	0.36份
酒精	0.53份
虫胶	0.28份

生橡胶(或生胶废鞋底)3.5份

用途：适用于雨鞋、胶鞋、自行车内胎等各种橡胶制品的粘接。

7. 快干赛璐珞胶

取约10份香蕉水(或者丙酮)溶解1份赛璐珞片(废乒乓球碎片或赛璐珞胶片)，即可制成胶水，适用于木制品和赛璐珞制品的粘合，粘要制品比乳胶干得快，而且比较轻，但牢度不及乳胶。

第六章　初中物理实验教具制作

初中物理教学中，实验教学是一个重要环节。这里有代表性地选择了部分教具制作，按声现象、光的反射与折射、压强、浮力、电学、磁现象、电子元件、能量转换八个内容编辑。制作的教具从工艺上来看比较简单，可以作为开发学生课外活动的教具或学具。

§6.1　研究声现象的教具制作

一、声音靠物质传播

【实验原理】

在教室里，教师摇动铃铛，学生都可以听见。这时由于铃铛在摇动的过程中，使邻近的空气振动起来。铃铛压缩推动空气，使邻近的空气一密一疏地振动，邻近空气的振动又使得较远的空气一密一疏地振动起来。这种空气的振动传到我们耳膜，使耳膜受到振动起来，我们就听到了声音。

如果传播振动的空气越来越少，我们听到的声音将会越来越小。如果没有了传播振动的空气，我们就不会听到声音了。

我们把振动的物体放入一只密闭的玻璃瓶中，逐渐抽出里面的空气，我们所能听见的声音将会越来越弱小。

【制作方法】

材料：一只小铃铛、一只较大口径的铁盖玻璃瓶（铁盖内层必须有胶垫，使得盖紧后密闭性好）、胶管、粘胶。

把小铃铛上端固定在瓶盖内盖上。固定的方法可以用粘胶粘

接，或者在盖中央用铁钉钻一小孔，用细铁丝固定，再用强力胶密封小孔。

在瓶盖二分之一半径处钻一大孔，把胶管穿过孔，然后用强力胶把胶管固定在瓶盖上。粘胶的作用不仅是固定胶管，而且起着密封作用。如图 6-1 所示。

由于胶管的外端要与抽气机相接，所以要考虑到接口处对接管的口径与之吻合。



图 6-1

【实验方法】

1. 手持瓶盖，摇动铃铛，可以听见清脆悦耳的铃声。

2. 盖紧瓶盖，摇动瓶子，仍能听见较弱的铃声。

3. 胶管接抽气机，一边抽气，一边摇动瓶子，铃声会越来越小。

二、土电话

【实验原理】

一切气体、液体、固体都能传播声音。

“土电话”能说明液体与固体都可以传播声音。

【制作方法】

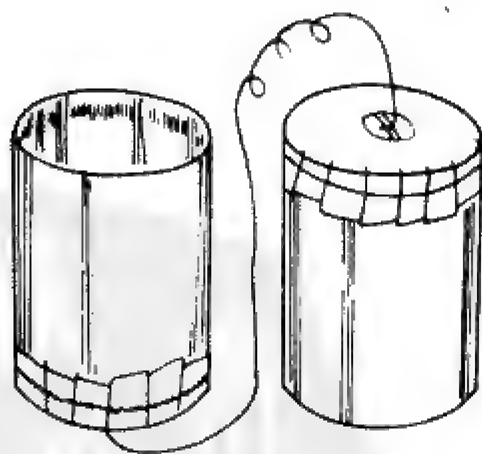


图 6-2

材料：废易拉罐两只、高橙饮料瓶商标薄膜两张、10m 长细线一根、透明胶带。

将两只废易拉罐两端剪去，留有长 8cm 左右的圆筒。在两张薄膜上各画一个半径为 5cm 的圆，圆心用针扎一小孔，把细线穿过孔去，用透明胶布把线粘在薄膜上如图 6-2 所示。再把两

张薄膜绷紧后用透明胶布在易拉罐筒上，就构成了两个土电话话筒。

如果没有易拉罐，用两个粗竹筒或两个圆纸盒也可以代替。若无高橙饮料瓶商标薄膜，用大张玻璃糖纸或蜡纸均可。

【实验方法】

两人各持“土电话”话筒一只，相距数米绷紧细线（切不可用力太大，以免拉坏话筒膜！）。一人说话一人听，交换进行。表明固体可以传声。

将“土电话”话筒膜向下，开口向上浸入水塘中（注意：不可使水进入筒内）。用耳聆听，可以清楚地听到水塘另一侧用手拍击水面的声音，表明液体可以传声。

三、研究弦的音调

【实验原理】

二胡、琵琶、提琴、吉它都靠张紧的弦振动发声。

用橡皮筋、尼龙弦、钢丝弦等不同材料做实验，在弦的长度相同时，拨动弦发出的声音音调不同。

用粗细不同的钢丝弦做实验，当弦的长度相同时，拨动弦发出的声音音调不同。

用同一根弦做实验。改变弦的长度，拨动弦发出的声音音调不同。

以上均说明弦的音调与弦的材料，弦的粗细，弦的长度等因素有关。

【制作方法】

材料：长橡皮筋一根、尼龙弦一根、粗细不同的钢丝弦各一根、木板一块（长 30cm，宽 6cm，厚 2cm）、小木块两块、25cm 长的木螺钉 8 颗。

如图 6-3 所示，把木螺钉每排 4 颗各拧紧在大木板两端，先把橡皮筋、尼龙弦，钢丝弦两根分别绷紧在木螺钉上（可以通过拧紧

木螺钉来拧紧弦），再将两个小木块削成“△”状的码子，然后垫在张紧的弦下。



图 6-3

【实验方法】

1. 两个码子并排放置，用塑料尺作弹片拨动四根弦，听一听音调的高低。

2. 再拨动两根钢丝弦听一听音调的高低。

3. 不断移动码子，弹同一根弦听一听音调高低。

经过反复练习，你就以在这把简易的“琴”上弹出美妙的乐曲。

§6.2 研究光的反射与光的折射现象

一、小孔照相机

【实验原理】

由于光在同一种均匀媒质中是沿直线传播的，因此光源 A 发出的光经小孔照射在 A′处，光源 B 发出的光经小孔照射在 B′处。所以针孔所成的像是上下倒置，左右对调。如图 6-4 所示。

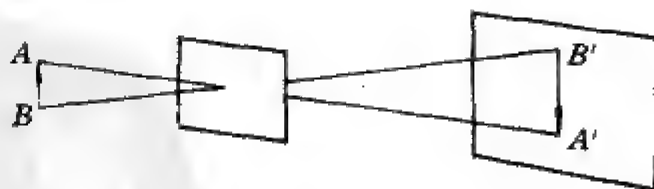


图 6-4

由于针孔小，透过针孔的光比较少，所成的像也很暗淡模糊，必须借助于暗筒的移动，再透过暗筒观察像，找到最清晰大小适当

的像。

【制作方法】

材料：羽毛球筒一个、直径略小于羽毛球筒的硬纸筒一个、薄膜一张、黑纸一张、透明胶布少许。

先将羽毛球筒底部去掉，再把羽毛球筒盖中央剪一个半径约 1cm 的洞。把黑纸剪成一个略小于筒盖的一个圆，用胶水贴牢在筒盖上。最后在筒盖正中央开一个直径约 1mm 的小孔。

直径略小于羽毛球筒和硬纸筒应该比羽毛球筒略长一点为好，在筒的一端将薄膜绷紧并固定，然后把绷膜的一端插入羽毛球筒中，盖好筒盖。

【实验方法】

如图 6-5 所示：



图 6-5

将小孔对着室外明亮的物体，前后拉动内筒，像的大小和清晰程度就随着变化。

如果有感光度高的相纸，可以拿着针孔照相机去室外拍摄风景或静物。只是注意：

①针孔照相机最好固定起来；

②曝光前后必须挡住小孔；

③内筒的后端必须封住不能透光。

二、潜望镜

【实验原理】

由于光线在同一均匀媒质中沿直线传播，人们的视野不能拐弯。为了帮助人们观察到不易观察的事物，人们制造了潜望镜。

平面镜可以使光线反射，潜望镜就是用两块以上的平面镜制成。如图 6-6 所示。

物体发出的光线经平面镜 1 反射至平面镜 2，再经平面镜 2

反射进入人的眼中。

人们通过潜望镜观察到的像是一个虚像，但虚像与实物并不发生左右，上下倒置的现象。

做一个潜望镜，它不仅可以使你体会到战场上的潜望观察，还可以帮助你在人群众多的集会上看到大人们踮着脚也看不到的美景！

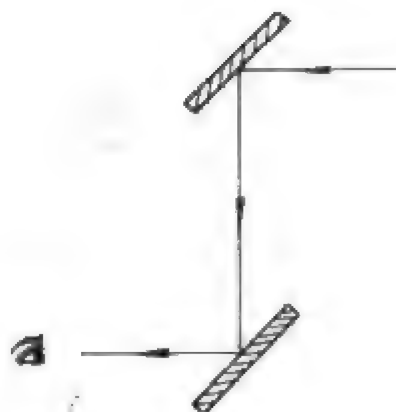


图 6-6

【制作方法】

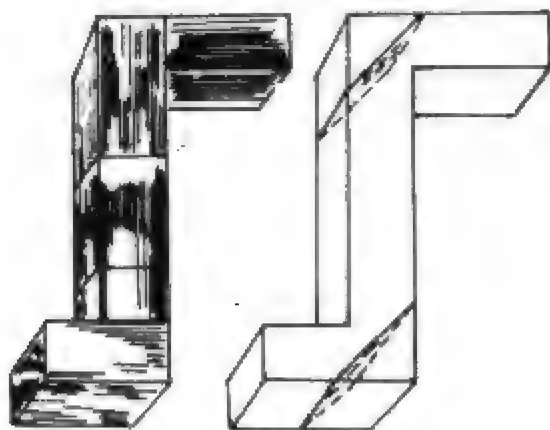


图 6-7

材料：两块 10 × 15 (cm^2)的平面镜、5 个同样规格的长方框纸盒（例如装酒瓶的纸盒等等）、透明胶。

把一个纸盒子去掉盖和底，另外四个在靠近底边的地方开一个方孔。取出其中两个，如图 6-7 所示：

在筒内成 45℃ 角放置两块平面镜，然后用透明胶将两个边固定粘好。最后把 5 个纸盒按图 6-7 拼装起来。

注意把拼装之后的盒子与盒子之间粘牢。一个潜望镜就制成了。

（张启平提供）

三、自制简易日食月食仪

【实验原理】

日食和月食观察是因为阳光的直线传播所形成的。

如图 6-8(a)所示：

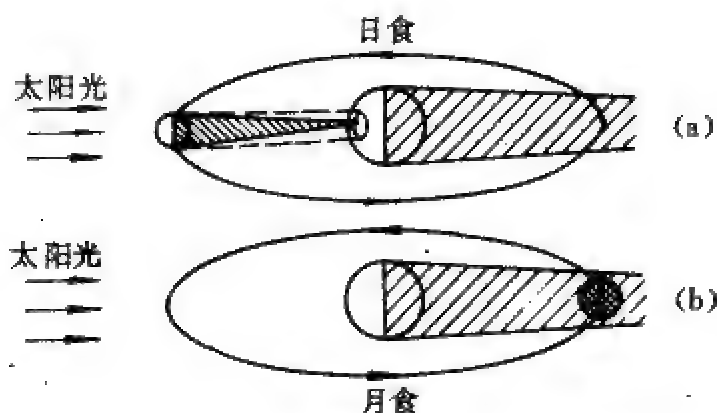


图 6-8

当月球运转到太阳与地球之间时，月球将挡住照射到地球的一部分光线，把月球的轮廓投影在地球上，形成日食。地球上处在月球本影区域里的人，看到的是日全食(太阳全部被遮住)；地球上处在月球半影区域里的人，看到的则是日偏食(太阳部分被遮住)。

如图 6-8(b)所示。当月球运转到地球反面，太阳、地球、月球处在同一直线上，地球将挡住太阳射向月球的光线，形成月食。整个月球进入地球的本影里叫月全食；如果月球只有一部分被地球的本影遮蔽，就叫做月偏食。

【制作方法】

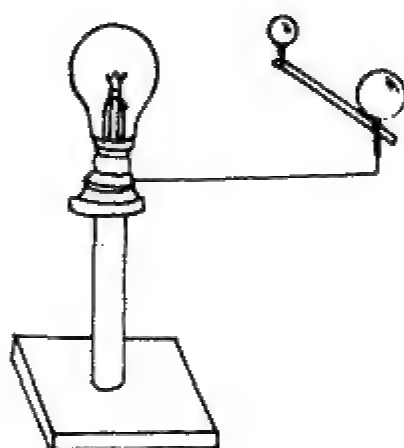
材料：竖直安装灯泡的台灯一个、乒乓球一只(作为“地球”)、小塑料球一只(体积小于乒乓球，作为“月球”)、医用注射废针头两只、铁皮一小块、铁丝等。

台灯插座上都有一个限门螺圈，根据螺圈的内径，剪一个铁皮圆环，环内径与螺圈内径相同，环宽 1cm 左右。圆环所起的作用主要是限定地球铁丝轨道所用。铁丝轨道一端用钳子按插座螺圈外径大小拧成一个圆圈，安装在插座上并被限位圆环限定，不能上下移动，但可以绕台灯插座中心轴线转动。

地球轨道铁丝在长 45cm 处向上弯曲，最上端用砂轮磨出长 1cm 的细颈，以便能固定月球的轨道铁丝和套入注射针头(针头穿

入乒乓球作为“地球”)。月球轨道铁丝一端先砸扁，然后在扁平处钻一个大小合适的孔，使其能恰好套入细颈处。如图 6-9 所示：

月球轨道在长 10cm 处向上弯曲，作为月球的轴心。在端头插入注射针头，针头上穿入小塑料球作为“月球”。


图 5-9

这样，地球和月球系统可以围绕太阳(台灯)运转，地球(乒乓球)可以自转，月球(小塑料球)又可以围绕地球(乒乓球)转动。

【实验方法】

打开台灯开关，用手拨动地球公转轨道与月球公转轨道，观察：1. 太阳、月球、地球在同一直线上时的日食现象；2. 太阳、地球、月球在同一直线上时的月食现象。

四、平行光源

【实验原理】

在光学实验中，如光的直线传播，光的反射，光的折射等，都需要用到平行光源。

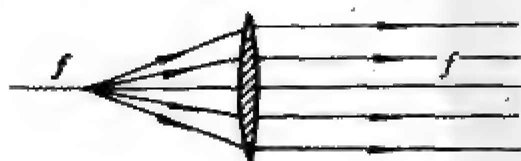


图 6-10

简易平行光源是根据凸透镜的特点制成的。如图 6-10 所示。

从焦点射向凸透镜的光，通过凸透镜后可以变成平行光。

【制作方法】

找一个直径为十几 mm 的玻璃小药瓶尽量选瓶壁略薄，透明

度较好的，把瓶子放在清水里，装满水后盖严拿出水面，以防瓶中有气泡。再找一个(2.2～6)V 的小灯泡，灯泡可固定在薄木板上。点亮灯泡后放在亮水药瓶一侧，就有一束扁平光束射出。调节小灯泡的位置和灯丝的方向，可将光路调成很窄细的一条。测量出时灯泡与药瓶的距离，按此长度用薄木板做一个小盒子，小盒子一侧开3 条细缝，以便于平行光线射出。如图 6-11 所示：

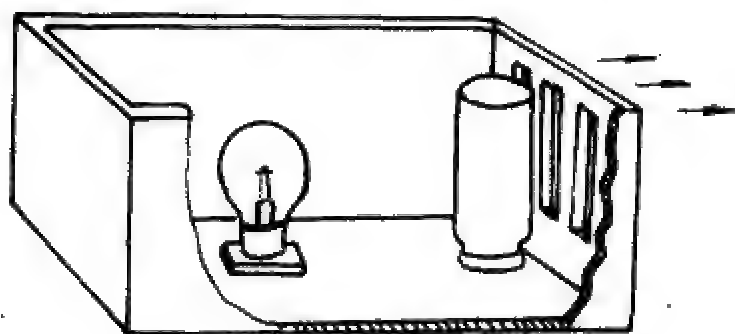


图 6-11

【实验方法】

点亮灯泡，可做如下实验：

1. 找一块平面镜，观察光的反射；

2. 用一透明圆形玻璃杯装满清水，作为水凸透镜，使平行光会聚。

3. 找一张香烟锡箔纸与一汤勺。把锡箔纸垫在勺内，作为凹镜，观察会聚作用；把锡箔纸包在勺外，作为凸镜，观察发散作用。

五、自制凸凹透镜

【制作方法】

方法一：

找一个“220V、40W”白炽灯泡，把插口端固定，用废布包着灯泡轻轻两边来回转动，一旦松香粘接处脱落之后，加大转动幅度，直至拧断铜丝，取下灯泡头。

用小起子从内轻轻敲碎玻璃柱，逐渐扩大口子取出碎玻璃和

灯丝。将玻璃泡洗干净，放入水中浸满清水取出，用橡皮泥密封灯泡口，再用强力胶将插口端与灯泡头粘接起来，待胶干固后即可使用。

把插座固定在木板上，再把水凸透镜插入插座，既稳定，又可随处移动，十分方便。

方法二：

找一个透明的，圆柱形的药瓶，洗净后装上水，注意不要把水装满，盖上盖后就留有一个小气泡。如图 6-12 所示：

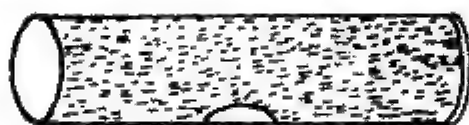


图 6-12

把药瓶水平放置，通过水柱看书上的字，字是放大的；通过气泡看字，字是缩小的，这是只简易凸、凹两用透镜。

方法三：

在寒冷的冬天，可以自制冰凸透镜与冰凹透镜。

将洁净的水放在球形容器中结冰后取出，稍加整形成了凸透镜。还可以用天然冰块加工，把一方形冰块削成凸透镜。把冰块放在球形金属容器中稍加热，待其熔化后取出，冰块的一面已成球面状，再翻动冰块，给另一面整形，直至成为凸透镜形状。

制作冰凹透镜的方法是：把一方形冰块放在旧棉絮上，用一圆形金属汤勺在炉上加热，然后将凸起的一面放在冰块上，待汤勺冷却后再次加热，重复上述过程，数次之后就可成一凹球面，翻过来用同样的方法加工另一面，注意制作过程中不要把最薄处弄穿，整形后就成了一块冰凹透镜。

六、自制简易显微镜

【实验原理】

显微镜成像原理是：被观察的物体放在物镜的焦点外距焦点不远处，经过物镜形成一个放大的实像，这个实像在目镜的焦点之内，经过目镜的再次放大成为虚像。如图 6-13 所示。

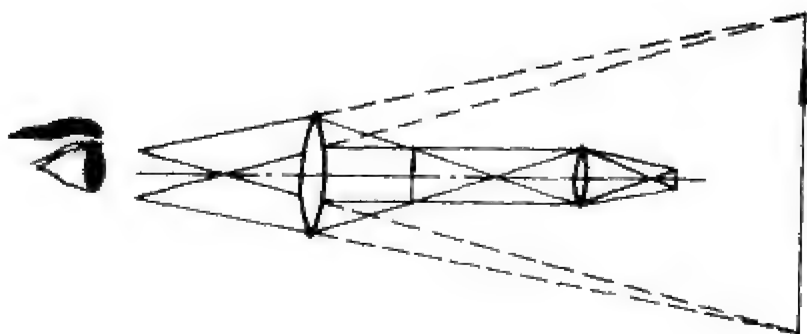


图 6-13

由于从显微镜中看到的像是经过物镜与目镜两次放大后形成的，所以显微镜的放大倍数是物镜和目镜放大倍数的乘积。

【制作方法】

材料：废旧 2.2V 聚光灯泡一个、放大镜一只、小平面镜一块、薄玻璃一块、铁丝若干、木板两块、纸盒一个、医用青霉素瓶一只、玻璃球一颗、医用螺旋夹一个、铁皮若干、小木螺钉若干、强力胶等。

1. 做显微镜筒

显微镜的物镜与目镜是关键部件，物镜必须焦距短，目镜必须焦距长，这样才能保证物镜所成的实像在目镜的焦点之内，目镜可以选用放大倍数(5～20)倍的放大镜，物镜最好由自己制作。

物镜可由报废的 2.2V 聚光灯泡前面的聚光透镜(即凸透镜)制成。将小灯泡灯丝附近的玻璃砸碎，小心取下聚光透镜。透镜旁边不必要的玻璃可用钳子捏碎(注意不可弄坏了透镜)，用一厚纸片把它夹住，使其不易脱落。

用一张硬纸盒做一个活动镜筒。具体做法是：先卷一个小纸筒，一端不封口，一端将物镜(聚光灯泡透镜)所附的厚纸封口，封口时将透镜粘在小筒轴心处。另卷一个大纸筒，大纸筒比小纸筒略粗一点，能在小纸筒上恰好抽动，大纸筒一端不封口，另一端用厚纸片夹住目镜(放大镜)封口，同样目镜也要固定在筒中央。

镜筒的长度由物镜和目镜决定，一般说来，当物镜确定之后，

目镜焦距越长则镜筒越长，反之则越短。

2.载物台的制作

用铁丝弯曲成如图 6-14 所示的形状。夹住薄玻璃板(作为载玻片)并固定在支架上。

3.万向采光镜的制作

将小平面镜(2.5×2.5 $(cm)^2$)镜面向下放置，用强力胶把玻璃球粘在其背面，待胶干后，把玻璃球放在青霉素药瓶的瓶口上。由于这种采光镜既简单，又灵活方便，很容易调节它将各个方向的来光反射后照亮载物台，故可称为万向采光镜。

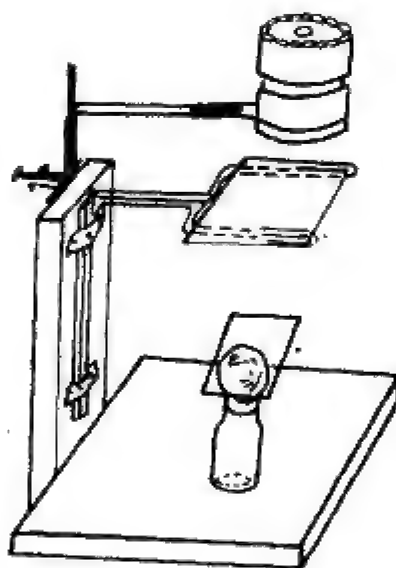


图 6-14

4.支架制作并组装

按图 6-14 所示把木板钉成支架。载物台的铁丝和铁皮用小木螺钉固定在支架上，固定显微镜筒的铁丝也用铁皮和木螺钉限位，使其能上下移动又不致太松垮。用一只医用螺旋夹把一根固定不动的铁丝与显微镜筒的铁丝夹在一起，使显微镜筒一旦调节到某一高度后即可定位。

制作完毕后，显微镜筒能上下移动，调节镜筒与载物台的距离；抽动目镜筒，可以调节物镜与目镜的距离；万向采光镜可以向各个方向采光，整个装置十分灵活方便。

【实验方法】

把一根头发放在载物台上，用采光镜照亮它，上下移动镜筒，使物镜靠近头发，再调节目镜，你会看到这根头发非常粗，因为你只能观察到这根头发的一部分。

同样的方法来观察水滴，你将会看到水中的微光变得十分明亮，十分清楚。

七、自制水三棱镜

【制作方法】

材料：5×16（cm^2）的透明的薄玻璃三块、边长 5cm 的等边三角形玻璃两块、强力胶等。

在砂轮上把每块大玻璃边缘打磨，如图 6-15（a）所示，将每个角磨成 30℃。

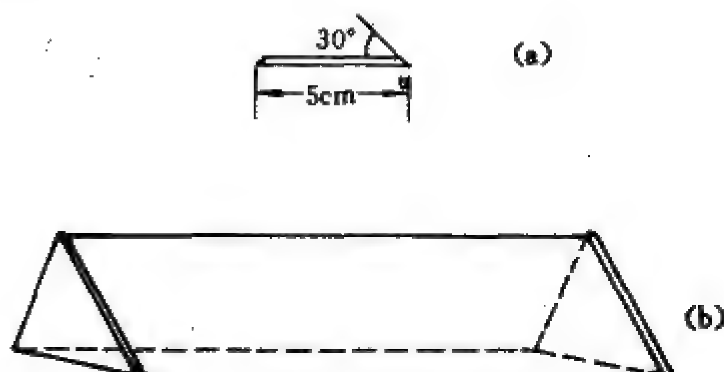


图 6-15

打磨时用布包住玻璃手持处，以免划伤手。

把打磨后的三块玻璃合起来进行粘接，注意粘接时不要把胶水涂在平面玻璃上，以免影响三棱镜的透明度。粘接后用橡皮筋捆好加固，使用粘胶把一端用三角玻璃封口，封口后把三棱镜竖直放置，使其粘胶干固。

胶干后，把三棱镜内清洗干净，然后浸入洁净的清水中装满水，另一块边缘涂了粘胶的三角玻璃放入水中封口盖严后，再拿出水面，擦净粘接处周围的水，加压在三角玻璃上使其干涸。

【实验方法】

用水三棱镜迎着射进室内的阳光，可以在室内观察到多彩的色光，这就是光的色散现象。

§6.3 研究压强的教具制作

一、模拟帕斯卡“桶裂”实验

【实验原理】

1648 年，著名法国物理学家帕斯卡在巴黎用水和葡萄酒做实验。在 12m 长的管中盛水之后把结实的新木桶胀破了。这就是历史上有名的帕斯卡桶裂实验。

一个容器里的液体，对容器底部(或侧壁产生的压力远大于液体自身的重量，这对许多人来说是不可思议的。模拟帕斯卡桶裂实验，可以加深对液体压强的认识。

【制作方法】

材料：可密封的空麦乳精罐头盒一个、橡皮塞一只、1m 长玻璃管(内径 5mm)一根、能套在玻璃管上的橡皮管一小节(4cm 长即可)、铁丝一段。

把罐头盒底部开一小圆洞，洞的大小由橡皮塞塞进小洞之后应不漏水。在橡皮塞中央按玻璃管的外径钻一小洞，将 3cm 长一根小玻璃管插入，再在玻璃管上套上橡皮管。

用铁丝在罐头盒上绕两圈后拧紧，铁丝要能在物理支架上固定。

【实验方法】

1. 先将罐头盒橡皮管用夹子夹紧，把罐头盒装满水后盖紧，然后盖子方向向下固定在物理支架上。罐头盒下放一空盆盛水。

2. 把橡皮管上的夹子去掉，用大漏斗与罐头盒上的橡皮管相连，把水注满漏斗，这时水的压力还不能使底盖压开。

3. 取下大漏斗，把大漏斗中的水倒入一只杯子里，再用长玻璃管与橡皮管相连，玻璃管中插入一根细漆包线，以便于把水注入玻

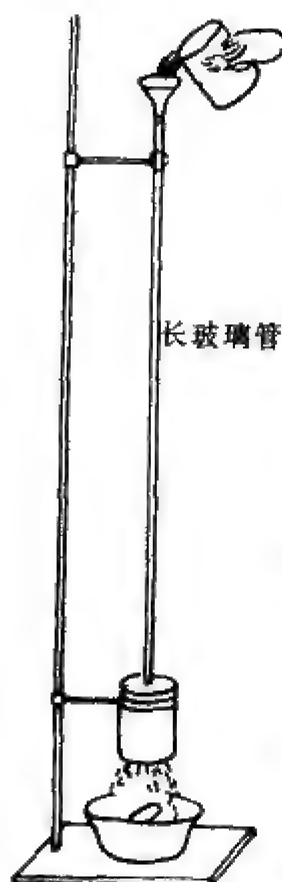


图 6-16

璃管内。将杯子里的水缓缓倒入玻璃管，当液面高度达到一定值时，罐头盒的底盖即被水压开，罐中的水全部倾泻而下。如图 6-16 所示。

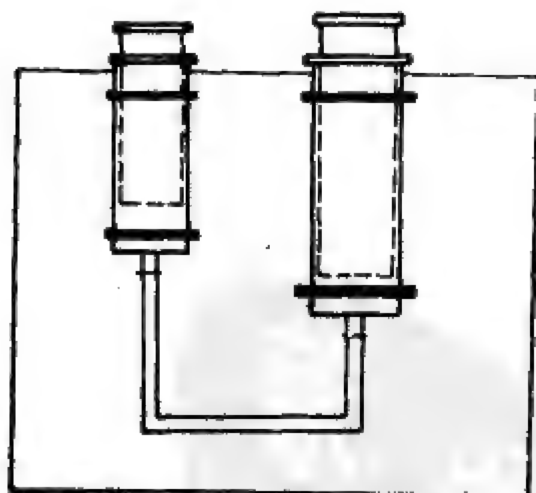
注意，当长玻璃管内径小于 4mm 时，从上向玻璃管中注水可能注不进去（玻璃中会有空气柱支持水柱），这时可以将长玻璃管水平装水之后与橡皮管相连，再把玻璃管逐渐向上竖起，同样能产生桶裂效果。

二、液压机模型

【实验原理】

液压机是工业上常用的机械，它是利用帕斯卡定律的原理来工作的。

帕斯卡定律说明：加在密闭液体上的压强能够按照原来的大小由液体向各个方向传递。如图 6-17 所示：


图 6-17

用两只内径不同的注射器相当于两只容器，用一根塑料管连接，把里面装上水，在小注射器上加压力时，小注射器会把对水的压强传递给大注射器，从而将大注射器推筒顶上来。

根据帕斯卡定律

$$P_{大}=P_{小}, \qquad \frac{F_{大}}{S_{大}}=\frac{F_{小}}{S_{小}},$$

$$\therefore \frac{S_{大}}{S_{小}}=\frac{F_{大}}{F_{小}}。$$

大注射器内筒面积是小注射器内筒面积的 n 倍，在大注射器推筒上得到的力，就是在小注射器推筒上施加力的 n 倍。

【制作方法】

材料：18cm×35cm 木板一块、一次性塑料 5ml 注射器一只、玻璃 50ml 注射器一只、30cm 长一次性注射胶管一根、有绝缘外套的单芯铝丝若干。

如图 6-18 所示，在木板上钻 8 个小孔，每个小孔间距要略小于筒外径(左边固定大注射器)。然后从小孔里将芯线穿过，把两只注射器紧紧固牢在木板上。

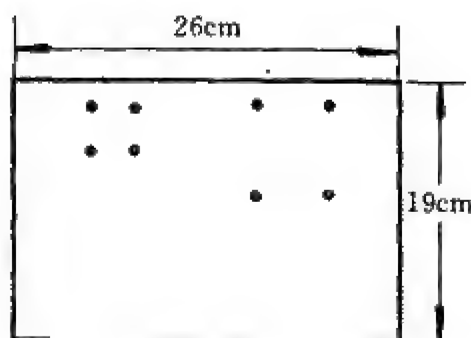


图 6-18

先把两只注射器推到底，把胶管套在大注射器上，抽 20ml 水(可把水染成红色以便观察)，从胶管头把空气排走，再把胶管头套在一次性塑料针头上。

【实验方法】

1. 把大注射器中的水推 5ml 在小注射器里；

2. 在小注射器上放一千克磅秤砣，同时在大注射器上放 3kg 磅秤砣；

3. 两边同时放手，小注射器上的磅秤砣向下，推动大注射器上的秤砣向上，这样用一个较小的力就可以得到一个较大的力。

三、研究液体的压强

【实验原理】

在液体中深度不同，液体的压强大小也不同。

在盛满水的容器中，水对容器壁有压力的作用，如果在容器壁不同高处开两个同样大小的孔，由从孔中喷出的水柱中可以看出，液体在不同深度的压强不同。压强大处，水柱喷得急，水的冲量大（注意两孔的大小相同）；压强小处，水柱喷得缓，水的冲量小。如果两孔在液体内同一深度，喷出的水柱应该同样急（或同样缓），冲量同样大。

【制作方法】

材料：高橙饮料瓶一个、矿泉水瓶一个、废圆珠笔芯两只、眼药水瓶塞 4 只、粘胶等。把矿泉水瓶去底，待用。

将高橙饮料瓶在同一竖直线上钻三个同样大小的孔。量出最低处小孔的高度，在瓶的对面壁上也钻一个同样大小的孔。

在废圆珠笔芯上剪下 4 段 2cm 长的小管芯，将笔芯内壁清洗干净，然后插入 4 个小孔。笔芯一定要插紧，不得漏水。如果漏水，可用粘胶涂在接口处以防漏。

将去底的矿泉水瓶口向下与高橙饮料瓶口相接．高橙瓶口略大一点，矿泉水瓶正好可以插紧。为防止漏水，在接口处涂上粘胶。

【实验方法】

1. 将眼药水瓶塞套在 4 个小孔上，从矿泉水瓶底向里装水，直至装满。

2. 同时抽去同一竖直线上 3 个小孔的塞子，如图 6-19(a)所示，观察各孔的水柱喷射情况。如果要检查冲量情况，可在抽去瓶塞同时，用 3 个小杯接各孔喷出的水，经过同一时间之后，同时退出接水，用量筒测量各杯中的水，做好记录，以便分析。

3. 重复步骤 1，将瓶中灌满水，同时抽去同一高度小孔上的塞子，如图 6-19(b)所示，观察液体同一深度的压强情况，也可以仿

步骤 2，同时接水定量分析。

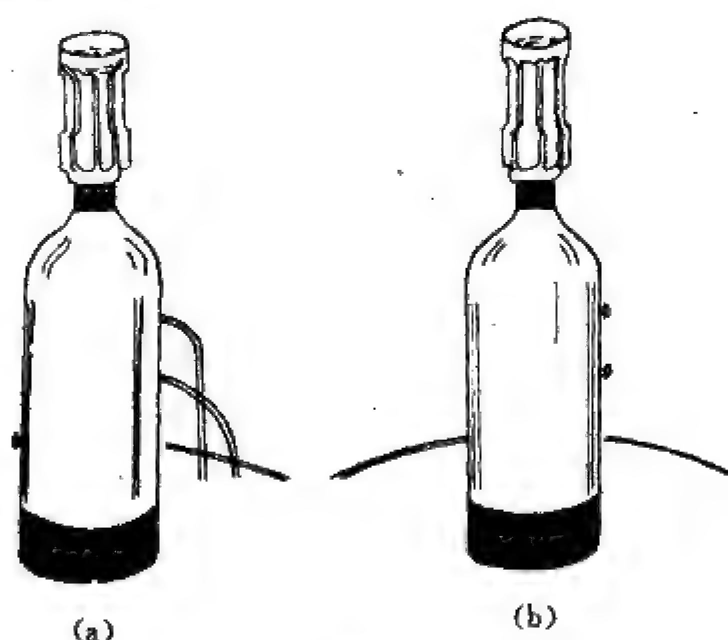


图 6-19

四、大气压强的实验

【实验原理】

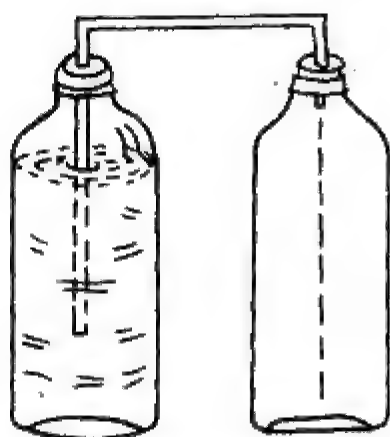
我们生活的空间，充满了空气，空气虽然看不见，但它和液体一样有重量。如同物体浸入在液体中会受到液体压强的作用一样，物体在空气的大气层中也受到大气压强的作用。水总是从高处流向低处，如果我们借助于大气压强的作用，可以使水由低处流向高处。

【制作方法】

材料：两个医用盐水瓶(其中一个瓶子上要有橡皮塞)、一段一次性注射软管。

在盐水瓶上用圆锥之类物体钻一个小孔，把软管穿过去(瓶内部分要能恰好接触瓶底)。用粘胶将软管与橡皮塞交接处密封。

参看图 6-20，制作完成后，也是先用酒精灯烘烤盐水瓶底半分钟，然后将瓶子与杯子并排放在一起，软管插入杯子的水中，红


图 6-20

色的水会在大气压强作用下被抽入盐水瓶中。

这个实验的盐水瓶可以使用250ml 的中号瓶。

（吴继生提供）

五、低压沸腾

【实验原理】

在纬度 45°的海平面上，水的沸点是 100℃。而我们平时烧水，水的沸点在 97℃～99℃，这是因为水的沸点与大气压强有关。

我们可以使气体压力降低，从而观察到水的沸点下降。

【制作方法】

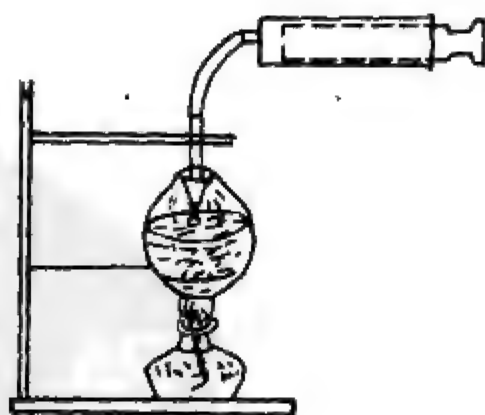
材料：废“220V，60W”灯泡一只、50ml 注射器一支、胶管一根。

用钳子捏碎灯泡尾部，去掉整个插口部分，玻璃泡前面是密封的必须用小铁钉将灯丝柱旁边插一小孔，将胶管通过小孔穿入玻璃泡内，用粘胶密封住连接处。

先向灯泡内灌 1/2 左右的水。如果灌水时有空气柱堵住胶管，可以用细漆包线插入管内，边上下抽动漆包线边灌水以便排出气泡。

【实验方法】

如图 6-21 所示，把灯泡安放在支架上，用酒精加热灯泡中的水，等水加热到 90℃时，撤去酒精灯，用注射器抽灯泡内的气体，立即可以观察到水在90℃左右就沸腾起来。


图 6-21

需要补充说明，用烧瓶做这个实验时，有时加热时间长，抽气时水沸腾的效果不明显，影响成功的原因很多。用灯泡做，玻璃壁薄，水少，加热快，抽气时效果明显，成功率就高。

（张智提供）

§6.4 研究浮力的教具制作

一、浮沉子

【实验原理】

根据物体在液体中的浮沉条件，物体的浮沉取决于物体所受重力与浮力的比较。

如图 6-22 所示，浮沉子可以浮在液体表面上，是因为此时它所受浮力大于重力。如果我们用手捏这个可塑的瓶子，液面上气体体积减小，压强增大。根据帕斯卡定律，这个增大的压强传递给液体，液体将压缩浮沉子内的空气柱，浮沉子排开液体的体积将减小。当浮沉子所受浮力小于重力时，浮沉子将下沉到液体中。如果我们使浮沉子所受浮力等于重力，浮沉子将悬浮在液体内。

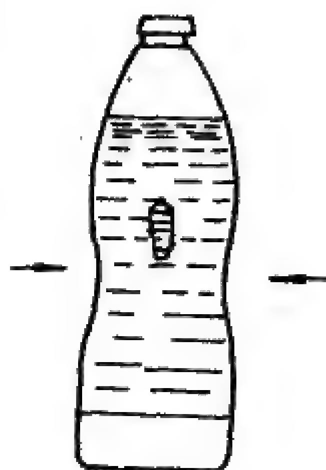


图 6-22

【制作方法】

材料：可密封的空高橙饮料瓶一个、10ml 的口服液小瓶一个（小瓶的口应小于大瓶口径）。

空高橙饮料瓶必须有盖，并且盖严之后密封良好，不得漏气。没有太阳神口服液小瓶，其它类似的小瓶均可代替，但小瓶直径应小于高橙瓶口径，这样才能放入高橙饮料瓶中。

先将高橙饮料瓶灌满清水待用。另准备一只杯子，装半杯清水，然后把作为浮沉子的小瓶装水。水瓶先装一半水后，用手堵着瓶口，口向下放入杯中。如果瓶底露出水面太多，必须堵住瓶口，拿出瓶子，增加里面的水；如果瓶子下沉，则将瓶口堵住，拿出瓶子，减少里面的水。总之，一定要调节到瓶底刚好露出水面又不下沉为止。这时堵住瓶口，将瓶口浸没在高橙饮料瓶的水中才放手。

最后，将高橙饮料瓶微微倾斜，倒出少量的水，把瓶盖拧紧。浮沉子就做成了。

【实验方法】

浮沉子平时浮在水面上。如果你用手捏瓶壁，稍加用力，浮沉子将下沉；如果你用力适当，浮沉子就会悬浮在水中。

浮沉子做成之后，你可以随心所欲操纵浮沉子，要它上升就上升，要它下沉就下沉，要它悬浮就悬浮，非常有趣！

二、探究浮力产生的原因

【实验原理】

浮力是怎样产生的呢？

如果一个规则的物体浸没在液体当中，它的侧面所受液体的压力均可互相抵消，这是因为物体上下表面所受液体压力的受力面积虽然相同，但上下表面所在液体内的深度不同，液体的压强大小不一样。物体上下表面所受液体压力之差，正是物体所受的浮力。

我们可以通过多种方法来证明浮力是怎样产生的。

【制作方法】

方法一（双乒乓球实验）。

材料：空矿泉水瓶一个、乒乓球两个。

将矿泉水瓶底剪去。实验时，将瓶口向下，从上面放入两个乒乓球，因为瓶身不大。两个乒乓球会一个在下堵住瓶颈，另一个在上，左手持瓶身，右手从上向里倒水，由于下面的乒乓球堵住瓶颈，

水只能向下渗漏。随着瓶内水的上升，上面的乒乓球浮在水面上也随之上升。下面的乒乓球虽然周围和上面都是水，但它却没有上浮。如果用右手堵住瓶口，渗漏的水很快充满了瓶口和瓶颈之间，下面的乒乓球的底部也会浸没在水中，它会立即"卟"地上升到水面。如图 6-23 所示。

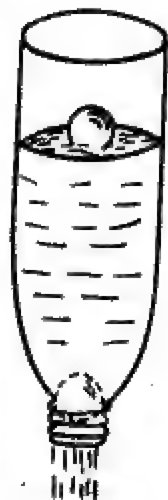


图 6-23

方法二（上浮的木塞）：

材料：空高橙饮料瓶一个、圆木塞一只、粘胶。

圆木塞要刚好塞在饮料瓶口上，不要太紧。再在圆木塞中央钻一个直径约 5mm 的小孔。如图 6-24，将饮料瓶的中间部分剪去，依然瓶口向上地将瓶颈用粘胶粘接在瓶内底部。待胶干后即可使用。

实验时，将木塞放在瓶口上，再用杯子装水沿瓶壁倒入瓶中。很快水将浸没木塞周围，但此时木塞并不上浮。水面继续上升，漫过木塞上表面，经小孔向里流水，此时木塞依然不上浮。等到木塞下的水面逐渐上升，刚刚达到木塞底部，木塞会立即上浮到瓶中水面上。如图 6-25 所示。



图 6-24

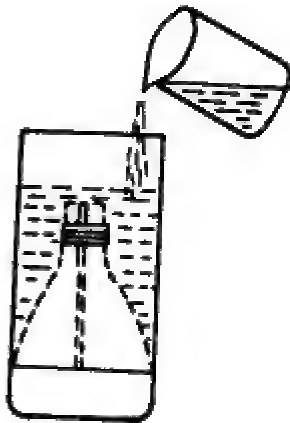


图 6-25

方法三(双 U 形管压强差计)

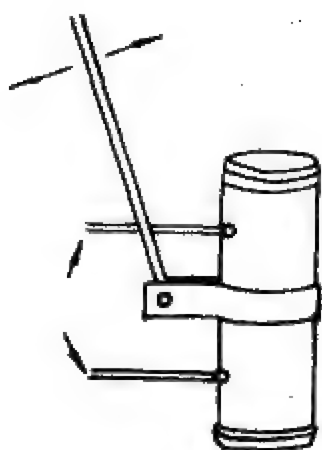


图 6-26

材料:两个透明的 135 胶卷盒、橡皮膜(如气球)一大块、橡皮筋两根、铁皮、铁丝若干、一次性注射塑料输液软管两根、木板($12\times30cm^2$)一块、厚木板一块、封口夹两只、白纸、粘胶等。

先将两胶卷盒去盖,中间各钻一小孔,正好使软管插入,用粘胶密封连接处。再把两盒底部用粘胶粘连,剪一宽条铁皮把连接处固定起来,并与粗铁丝固定,粗铁丝作为手持的柄,如图 6-26 所示。

把 $12\times30cm^2$ 的木板与厚木板钉起来,白纸粘贴在大木板上,将软管弯成两个"U"形并行排列,并在两"U"形管中心画出刻度线。两软管各经过一只小三通管与胶卷盒引出的两软管相接,三通管的另一个出口为排气用。

实验时,用注射器在双 U 形管中注入同样量的红色水,使双 U 形管中的液面相平。在两胶卷盒口上各绷一块气球膜,口面要绷平。等膜绷好之后,用两只封口夹将三通管的排气口夹紧,不可漏气。

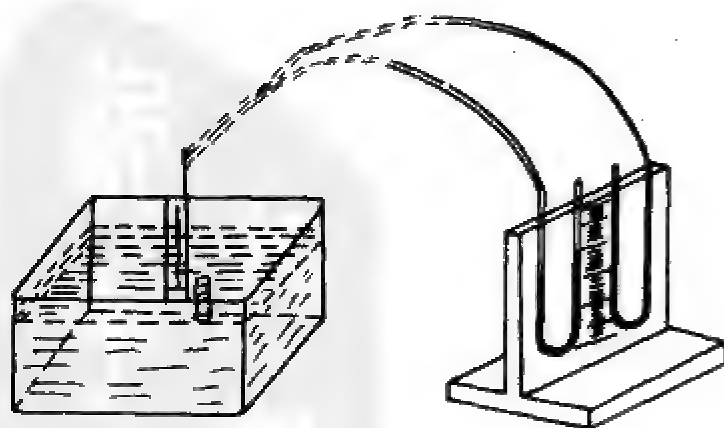


图 6-27

手持粗铁丝，缓缓将胶卷盒插入水中，如图 6-27 所示，两 U 形管中的液面不会在同一高度，记下双 U 形管管底各至液面的高度差。与下面胶卷盒相通的 U 形管中，液面的高度差要大得多，把这个水柱压强减去与上面胶卷盒相通的 U 形管水柱压强，所得的差即是两胶卷盒上下表面的压强之差。

将这个压强差乘以胶卷盒口的面积就能计算出胶卷盒所受的浮力。

三、自制密度计

【实验原理】

当轮船在长江里航行时，如果记住轮船的“吃水线”，在轮船驶入海洋后，你会发现此时“吃水线”已经在水面的上方了。

同一物体，浮在不同液体表面上时，所受液体的浮力相等。由于液体的密度不一样，物体排开液体的体积也就不相同。反过来，如果同一物体在不同液体中排开液体的体积不相同，那么液体的密度一定不一样。根据这个道理，我们可以制成测密度的装置——密度计。

【制作方法】

材料：大号有盖无破损的废牙膏皮一支、蜡烛一只、白纸、透明胶带等。

将牙膏皮尾部打开，取下盖，用圆棍把牙膏皮从里面撑开鼓圆，成为一个长圆筒，将里面的剩余牙膏冲洗干净。

拧上牙膏皮盖，点燃蜡烛，从尾部滴几滴蜡到牙膏皮里。滴入的蜡一是防漏水，二是保证牙膏皮竖直放在液面上时重心在下，比较稳定。在牙膏皮筒上竖直粘贴一小纸条，然后放入水中，记下水面刻度线。再依次将牙膏皮放入汽油、煤油与氯仿中，记下刻度线。

在密度表中查出不同液体的密度，分别在每个刻度线上，标明它们的密度值。密度值全标定之后，在纸条面上贴一透明胶布既可以清晰地读数，也可以保护有刻度的纸不再打湿。

你现在可以把自制的“密度计”放入各种液体中，粗略地测定这种液体的密度。

（郭生杰提供）

四、空气也有浮力

【实验原理】

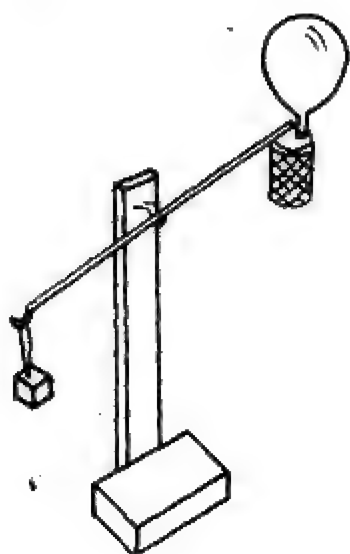


图 6-28

不仅浸没在液体中的物体受到浮力作用，处于空气包围下的物体也受到浮力作用。如图 6-28 所示，左边是密闭的金属容器，开一孔与气球相连，右边是配重使横梁保持平衡。如果用酒精灯烘烤金属容器底部，里面的空气受热膨胀会使气球鼓起来。此时横梁会逐渐倾斜，配重物体下降。

这是因为金属容器与气球总重量虽然没有变，体积却增大了。它的体积增大，排开气体的体积增大，气体对它的浮力增加，从而破坏了平衡。

【制作方法】

材料：易拉罐一个、气球一只、废圆珠笔芯一支、粗铁丝一根、木板两块、配重物。

将木板钉成如图所示的支架。从粗铁丝上剪下 4cm 长一段，在砂轮上把 2cm 长一段打磨成“△”，把这段铁丝尖端向上固定在支架上部，使尖端成为横梁的支承点。

易拉罐最好是未打开的，用干净铁钉在上表面中央钻一孔，插入吸管喝完里面的饮料。将空罐洗干净，倒出里面的水，剪 3cm 长的废圆珠笔芯插在孔上并用粘胶密封。等胶干后，把气球（先检查气球不能漏气）用细线扎紧。

用钳子把粗铁丝剪下40cm长一段，两端各弯一个钩形。

为了加强效果，配重最好比易拉罐重几倍，这样在开始平衡时，横梁就不是一个等臂杠杆。

【实验方法】

将铁丝一端挂在易拉罐拉环上，一端挂有配重物。双手持铁丝寻找平衡的支承点后松手，再点燃酒精灯，移到易拉罐底部使其加热。不一会儿，气球就会充气鼓起来，由于空气的浮力增加，使横梁的平衡遭到破坏。

（易诗学提供）

§6.5 电学实验的几个教具制作

一、玻璃导电

【实验原理】

能导电的物体叫导体，不能导电的物体叫绝缘体。

导体之所以能导电，是因为导体中有能够自由移动的电子。在绝缘体中，电荷几乎都束缚在原子的范围之内，不能自由地移动，所以绝缘体不能导电。

但是导体和绝缘体没有绝对的界线，当外界条件发生改变时，可以破坏原子内部的稳定结构，使原被束缚的电荷发生移动，在外电场作用下导电。

如图6-29所示，一只坏灯泡与一只好灯泡串联接在电路，坏灯泡的两根导线在玻璃柱内并不互相接触，此时好灯泡不会发光，加热坏灯泡的玻璃柱，当玻璃达到红炽状态时，它就逐渐变成导线，好灯泡逐渐由暗变亮，最后正常发光。

【制作方法】

材料："220V，40W"好灯泡一只、坏灯泡一只、两个灯座、12×

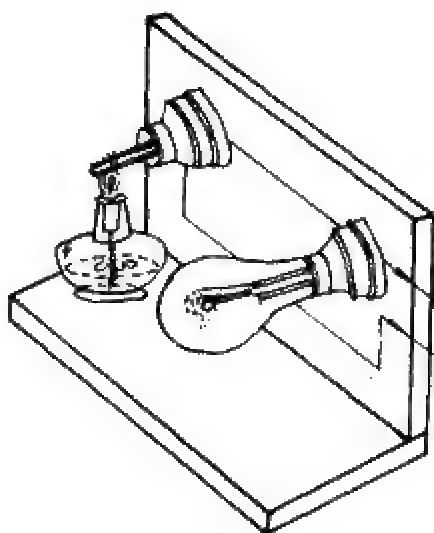


图 6-29

$20cm^2$ 木板两块、导线若干、电源插头一个。

把两木板互相垂直钉成上图所示的形状。将两灯座串联起来安装，由插头接 220V 电源。轻轻敲碎坏灯泡的玻璃泡，剪去玻璃柱上伸出的铜丝，与好灯泡一起插入灯座。

【实验方法】

1. 将插头插入电源插座，此时好灯泡不发光。

2. 把酒精灯放在坏灯泡玻璃柱下，点燃酒精烧玻璃柱。

3. 开始好灯泡不亮，略过一分钟后，好灯泡灯丝逐渐发红，并迅速明亮起来。

二、水位自动报警器

【实验原理】

学习了串联与并联电路，给合以前学过的浮力部分知识，可以自己设计一个水位自动报警装置。

如图 6-30 所示，当水位上长，浮子上浮，与 A 端接触，浮子上的导线与绿灯组成串联电路，绿灯亮，表示水位已达高水位线；当水位下降，浮子下降与 B 端接触，浮子上的导线与红灯组成串联电路，红灯亮，表示水位达低水位线。如果高楼上的供水池装上这么一个报警装置，电工师傅就知道什么时候应该打开水泵抽水，什么时候应该关闭水泵停止抽水。

【制作方法】

材料：高橙饮料瓶两个、10ml 口服液瓶一个、圆珠笔芯一支、$18\times30(cm^2)$三夹板一块、2 号电池一对、红，绿小电珠各一颗、导线若干、橡皮塞、粘胶、铁丝等。

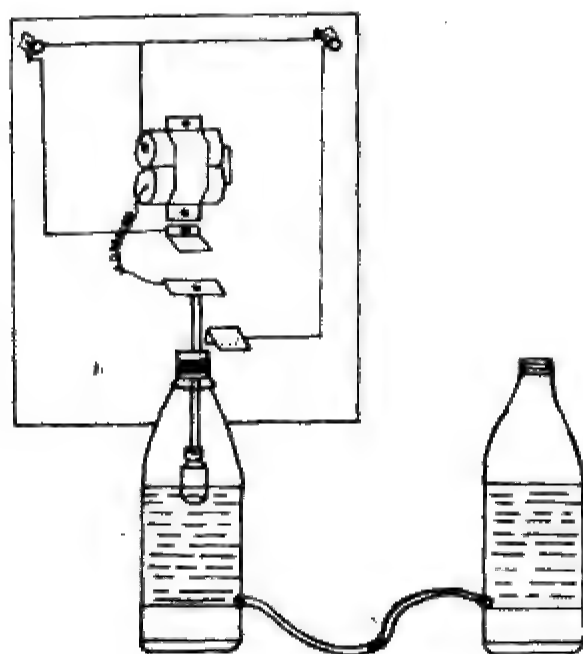


图 6-30

先做浮子。去掉圆珠笔芯头，将圆珠笔竖直插在口服液小瓶上，用粘胶固牢。等胶干后，找一个适合饮料瓶口的橡皮塞，在中央钻一个略比圆珠笔芯粗的小孔，把圆珠笔芯穿过去，在顶端粘接一小块焊有细导线的金属片。如图 6-31 所示。

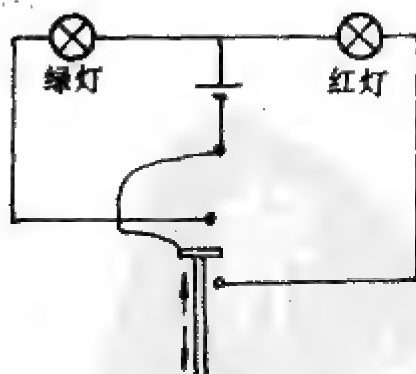


图 6-31

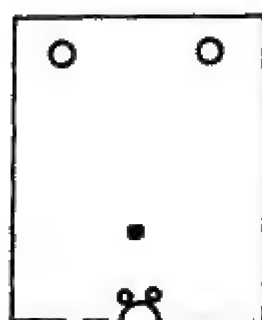


图 6-32

其次制作报警显示板。如图 6-32 所示，先在三夹板中央下部钻两个小孔，再在板上并联装两个回路，回路中各有红灯与绿灯。绿灯终端高于红灯终端，其都固定一块金属片(金属片是为了与浮子上的金属片接触时组成回路)，电池引出的一端接一个接线柱，

留待组装时连接浮子上的细导线。

再用两只饮料瓶做一个连通器。方法是将两个饮料瓶下部各钻一个孔，用一根一次性注射塑料软管把二者连接起来，中间套一箝流开关。

最后进行组装。把浮子装入一个饮料瓶中，将橡皮塞塞紧，浮子上方的金属片处于红、绿灯终端的金属片之间，再用铁丝通过两个小孔从饮料瓶颈环绕过来并拧紧，即把三夹板牢牢固定在瓶颈上。浮子上的细导线螺旋状绕几圈后与电池一端的接线柱相连，接触要良好。

【实验方法】

1. 在连通的另一饮料瓶中注水，打开箝流开关，浮子下方的水位将上升。

2. 浮子上升到顶端的金属片与绿灯相连的金属片相接触时，绿灯亮，表示水位已到达高水位。

3. 手持连通的饮料瓶低于三夹板下的饮料瓶时，水位将下降，浮子下降到顶端的金属片与红灯终端金属片相接触时，红灯亮，表明水位已下降至低水位了。

4. 停止浮子工作时，可让浮子处于中间(既不接触上端，也不接触下端)，关闭箝流开关。

三、测电笔

【实验原理】



图 6-33

如图 6-33 所示，试电笔内主要是由电阻与氖管串联起来。当 A、B 两端电势差小时，氖管中的氖气不发光。由此我们可用它来辨别火线和零线：手持 B 端，用 A 端去测试导线，如果氖管发光，说明 A 端接触的是火线；如果氖管不发光，则说明 A 端接触的是零线。

【制作方法】

材料：一次性注射器、起辉器中氖泡一个、1.5MΩ 电阻一个、橡皮塞一个、废 2 号电池一个、垫片两个、铁钉一颗。

一次性注射器是透明塑料制成的，有它作为测电笔主体比较合适。去掉注射器的推筒，将铁钉从管中放入，从注射口推出。铁钉要略大一点，能刚刚好塞满注射管而不至左右晃动。

氖泡有两根引出线，每根均接一个垫片，其中一个垫片压在铁钉上，另一个垫片与电阻相接，碳棒上的铜帽作为手持端的金属体。为了不使碳棒左右晃动，在橡皮塞上钻一个碳棒粗细的孔，然后塞紧在注射器筒端。如图 6-34 进行组装。

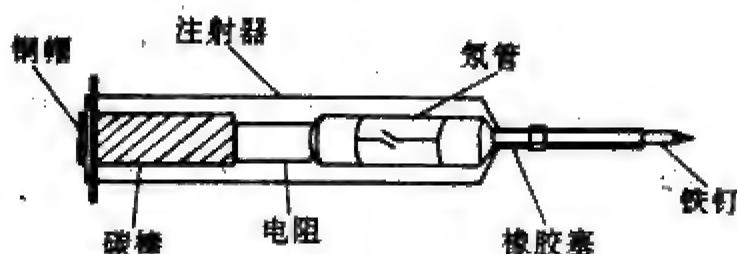


图 6-34

注意：①碳棒不可太长，刚好能把氖泡，电阻塞紧后使铜帽露出筒端，必要时可将碳棒锯掉一部分；②氖泡的两根引出线一定要绝缘，不然氖泡两导线接触之后，即使测试火线，氖泡也不发光。

测电笔做好之后去检测一次——与买的测电笔一样好用！

（梁继好提供）

四、模拟跨步电压与高压电弧触电

【实验原理】

在“安全用电”的知识中介绍了跨步电压与高压电弧触电的概念，但这两种触电现象在日常生活里并不常见，有必要进行生动的模拟实验，给同学们提供感性认识的条件和揭示这两种触电的机理。

跨步电压触电：由于掉落在地上的高压输电线在地面产生了

一个电场，这个电场以落地点为中心有一个范围，当人处于这个范围内时，两脚之间有跨步电压时，电流通过人体，造成跨步电压触电。

高压电弧触电：如果人体与高压带电体距离很小时，高压带电体会通过人体发生放电现象。这时，电流通过人体，造成高压电弧触电。

我们可以用感应圈产生的高压电场模拟高压带电体，用装在一个人体模型上的氖泡来显示跨步电压。

【制作方法】

材料：硬纸盒一个，起辉器氖泡一个，导线等。

做一个人体模型：用硬纸盒按人体的轮廓制成，人体的手臂和腿都可以自由活动。在人体胸部装一只日光灯起辉器的氖泡，氖泡的一个极各接一根导线到手和脚，另一极也各接一根导线到另一只手和另一只脚。导线除端点外均应有胶线绝缘。

【实验方法】

1. 跨步电压触电的实验，如图 6-35 所示。

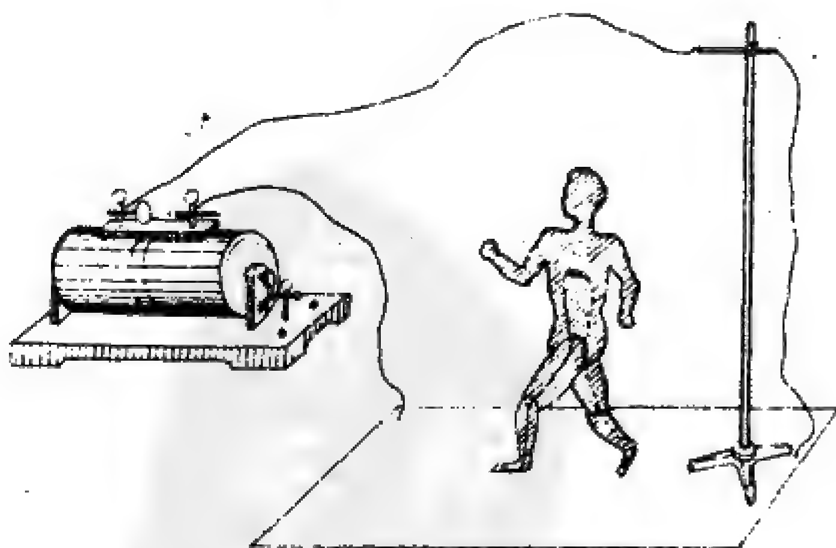


图 6-35

(1)用一张旧报纸铺在桌上，四周用图钉固定。

(2)将抹布在水中浸湿后把报纸表面擦潮。

(3)用导线将感应圈高压输出的一端夹接在报纸的一边缘上，将另一端由铁架杆上端挂下夹接报纸的另一端。

(4)把人体模型的一只脚用图钉固定，脚上的导线裸露部分同时被图钉固定在纸上。另一只脚可以在纸上移动作跨步状。

(5)先将两脚并拢立于纸面上，接通电源使感应圈工作，此时人体上氖泡不发光。说明此时两脚之间无跨步电压。

(6)手持活动腿部(不要接触胶皮导线)，使两腿逐渐张开，可以看出氖泡逐渐发光。两脚之间距离最大时，氖泡最亮。说明此时两脚之间有跨步电压且较大。

注意：感应圈工作电流不要太大，否则实验者的手及模型人体的腿移动时会有感应。

2. 高压电弧触电实验。如图 6-36 所示。

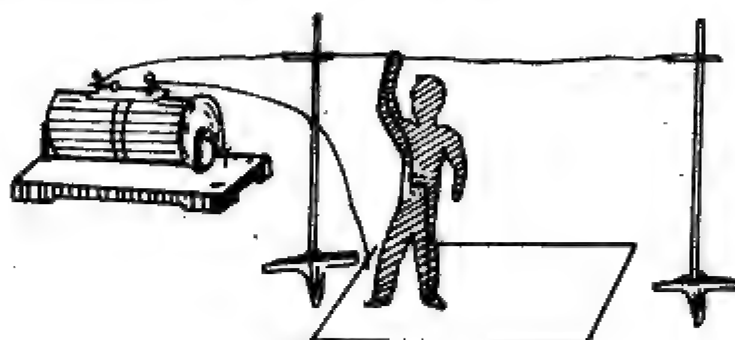


图 6-36

(1)同前步骤 1。

(2)同前步骤 2。

(3)有导线将感应圈高压输出的一端夹接在报纸的一边缘上，将另一端由人体模型上方挂接在铁架杆上。

(4)把人体模型的一只脚用图钉固定，一只手搭在感应圈的高压输电线上(注意这只手与脚必须是通过氖泡之后相接的，不能是氖泡同一极上的引出线)；另外的手与脚上导线由绝缘胶布包起来。

(5)接通电源使感应圈工作，随着人体模型的手与高压输出线之间的放电，氖泡也随之发光。说明此时发生了高压电弧触电现象。

§6.6 研究电磁现象及其应用的教具制作

一、磁力闪光灯

【实验原理】

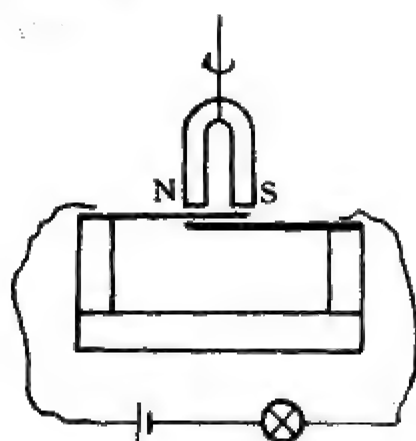


图 6-37

如图 6-37 所示，*ab*、*cd* 是两块薄铁片。当用线吊着的磁铁在水平面内转动时，小灯泡可以一闪一闪地发光。这是因为当磁铁旋转到与薄铁片平行的时候，两块薄铁片同时被不同程度地磁化，上方的薄铁片磁化较强；下方的薄铁片磁化较弱，被磁化的两块薄铁片将克服弹力相互吸引。两薄铁片接触的时候，电路导通，小灯发光。当磁铁旋转到与两薄铁片垂直的位置时，两薄铁片没有被磁化，薄铁片在弹力的作用下又会分开而脱离接触，小灯此时不发光。

在磁铁不断旋转的时候，薄铁片也不断地接触与断开。这样小灯就一闪一闪地发光。

【制作方法】

材料：条形磁铁一块、长木条一根、薄铁片两块(15cm 长)、1号电池一对、3V 小电珠一个、电珠灯座一个、导线、木螺钉等。

薄铁片可以从旧包装箱上面剪下，先去锈，用砂纸擦亮之后，最好用油涂抹一下。在长木条上一边钉一短木条，一边高一点，一

边低一点(参看图)。将薄铁片端点打一小孔,后用木螺钉穿过小孔固定薄铁片,同时,把导线也绕在木螺钉上与铁片固定接触。两薄铁片应该相互交叠,仅隔一个很小距离,铁片交叠处无锈。

【实验方法】

1. 用手捏住两薄铁片,看电路是否导通。若灯泡不发光,应先检查故障并排除。

2. 把磁铁沿一个方向旋转,使吊着的细线拧紧,然后把支架移近薄铁片,使细线垂直处于薄铁片上方。

3. 放开手,使磁铁自由旋转起来,小灯泡将一闪一闪地发光。

二、磁悬浮

【实验原理】

磁极之间存在着相互作用,同极磁体相互排斥,异极磁体相互吸引。

如果把两个磁体的同极端相对竖直放起来,由于磁性斥会使上面的磁体悬浮起来。

【制作方法】

材料:8cm×5cm 厚木板一块、2cm×25cm 木板一块、动圈式扬声器上的圆形磁铁两块、15cm 长铜管一根、铝片(6cm 长)两块、橡皮塞一个、木螺钉等。

如图 6-38 所示,先把木板支架钉好。

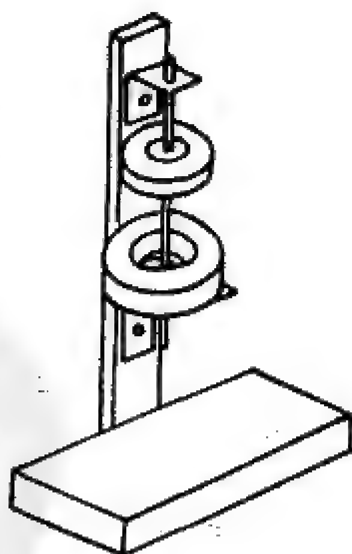


图 6-38

把橡皮塞塞入一圆形磁铁的圆孔中,塞紧后去掉露出在上下表面的橡皮。在橡皮塞中央钻一略小于铜管直径的孔,把铜管慢慢穿进去。

把两块铝片弯成“L”形,各钻两个孔(用于固定在竖直木板上),再在伸出边各钻一个略大于铜管直径的孔(用于约束铜管)。

用木螺钉将两铝片相隔 10cm 固定在竖直木板上，将铜管穿入两铝片的小孔中，把另一圆形磁铁放在下面的铝片上。

【实验方法】

1. 把两磁铁同极相对放置。

2. 用手压着上面的磁铁使其与下面磁铁相靠近。突然放手，上面的磁铁会在磁力作用下弹上去。

3. 用手使上面的磁铁旋转起来。由于悬浮的磁铁受到的摩擦力很小，将旋转较长时间才停下来。(可以在铜管与小孔间上一点机油，使摩擦更小。)

三、电铃模型

【实验原理】

电铃是利用电磁铁工作的。

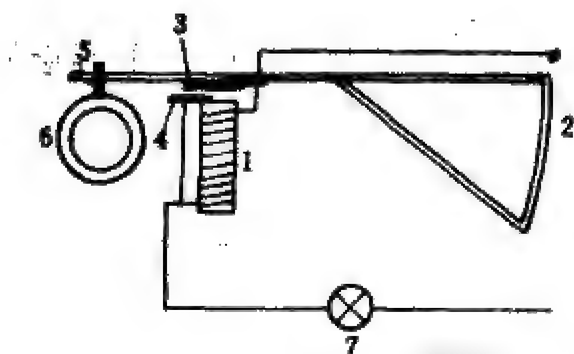


图 6-39

如图 6-39 所示，这是个简易电铃模型。图中 1 是电磁铁，2 是簧片，3 是动片，4 是静片，5 是锤头，6 是铃铛，7 是灯泡。

当电路接通电源时，电磁铁通电，对簧片产生吸引力，簧片向磁铁运动时，锤头敲击电铃发出声音，与此同时，动片和静片接触，电流不再经过电磁铁，直接通过电泡 7 形成回路。

电磁铁不通电流时，簧片不受吸引力，会在弹力作用下自动弹回原处，动片与静片脱离接触，电流重新经过电磁铁流向灯泡再形成回路。电磁铁又开始工作吸引簧片，锤头再次敲击铃铛。

周而复始，电铃不断地被敲响。

【制作方法】

材料：自绕电磁铁一个、36cm 长弹性铁皮（包装箱外的包装铁皮弹性不错、做簧片比较适合）、废自行车铃铛一只、“6.3V、0.15A”小灯泡及灯泡座各一只、小螺丝、铁丝若干、导线若干、20×28cm² 木板一块。

制作中，电磁铁的线圈绕制与簧片调节是关键。

电磁铁绕线轴可以用 120 胶卷轴，在胶卷轴里插入长螺杆作为铁芯，漆包线选用 0.55mm，在轴上密绕 800 匝。线圈绕好后，在轴的端头焊接一块铜片做静触片，电磁铁一端将接在动触片上，另一端直接与灯泡相连，静触片也应接在这一端。

簧片按图 6-40 加工。簧片头上钻一个小孔，固定一个大螺丝作为锤头。用铁皮紧紧固定一块铜片在簧片下端作为静触片，它将随簧片上下运动而与静触片接触。

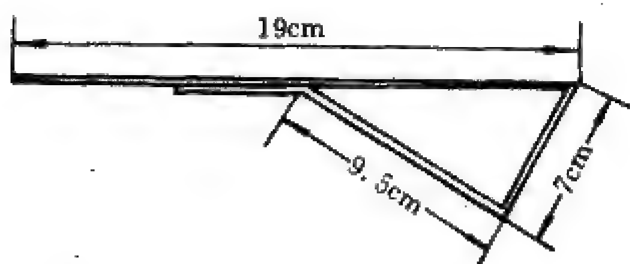


图 6-40

按图 6-39 组装起来。装簧片时，在图 6-40 所示“×”处钉上铁钉，调节簧片至电磁铁的距离，使得电磁铁通电时，足以克服簧片的弹力而吸住簧片；当电磁铁断电时，簧片要刚好弹回原处。此外，动触片与静触片也要能在簧片被电磁铁吸住时刚好接触，簧片弹回时脱离接触。动触片引出导线接电源。安装铃铛，要使电磁铁吸住簧片时锤头刚好敲击铃铛。电磁铁要用铁皮（或包装带）固定在三夹板上，能经受振动与撞击。

【实验方法】

接 6V 直流电源，电铃将工作起来，灯泡一闪一闪地发光。

四、光控电路

【实验原理】

学习光敏电阻，电磁继电器知识，现在综合起来运用。

如图 6-41 所示，L 是控制电路光源灯泡，*R* 是分压电阻，*R* 是光敏电阻，*J* 是电磁继电器，*L* 是指示灯，*M* 是电动机。

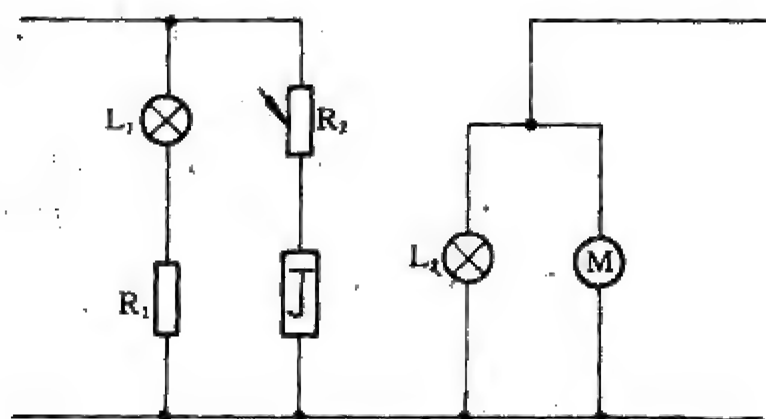


图 6-41

光敏电阻 *R* 不受光照时，阻值大于 2KΩ，受到光照时，电阻降至 100—200Ω。设计制作这个教具时就考虑到由于 *R* 的变化，引起回路中电流变化，使继电器两端的电压变化，继电器就可以正常工作或停止工作。因此，电路中没有三极管放大电路。

【制作方法】

材料：25cm×40cm 三夹板一块、光敏电阻一个、JRXB-1 型继电器一个、3V 小电机一个、"2.2V，0.25A"聚光灯泡两个、"30Ω，0.5A"电阻一个等。

选择小聚光灯泡做光源，是因为光敏电阻受光照部分很小，相距 10－15cm，光强不够，因此不聚光不行。光源 L_1 与光敏电阻 R 在安装时，要认真调节好二者之间距离，使光照时继电器正好启动。用书和纸在 L_1 与 R_2 之间遮光，继电器立即停止工作。

受控电路电源是 3V，可以用 1.5V1 号电池一对串联使用。

【实验方法】

1. 将 K_1、K_2 均合上，L_1 与 R_2 之间无遮光物体，电动机正常运转。

2. 用手挡住 L 与 R 之间，电机停止工作，指示灯发光。

3. 抽回手使 R_2 受光，电机重新正常工作，指示灯熄灭。

注意：这个实验不能在强烈阳光直接照射的室外做，由于光敏电阻受散射光照射的作用，L_2 会失去作用。

§6.7 电子元件电路的教具制作

一、与门电路

【实验原理】

与门电路是基本逻辑门电路之一，与门的"与"在逻辑上就是共同的意思，即当全部条件共同具备时，才能产生一定的结果。

例如：图 6-42 就是一个例子，两个开关都断开，灯泡当然不会发亮。但 K_1、K_2 中任何一个开关闭合，灯泡也不会发亮，只有当两个开关全部闭合时，灯泡才会发亮。

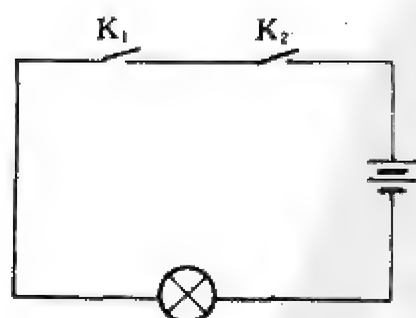


图 6-42

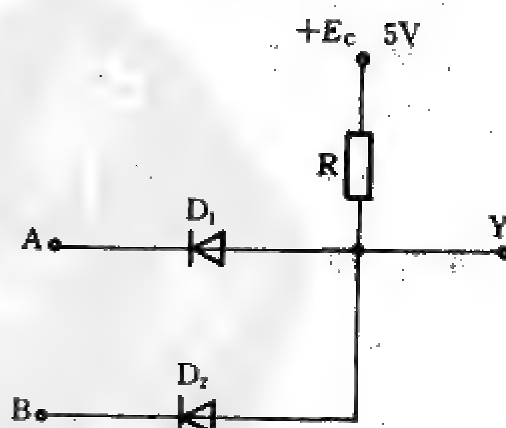


图 6-43

最简单的与门电路如图 6-43 所示。这个二极管与门电路由两个二极管 D_1、D_2 和一个电阻组成，电路的两个输入端作为条件，只要 A、B 任一端为低电位，则输出端 Y 的电位为二极管的正向压降（约 0.7V），即 Y 端也是低电位。如果两个输入端都接高电位（例如 5V），则二极管全部截止，输出 Y 端为高电位。

倘若在输出端接用电器，如图 6-44 所示，只有当开关 K、K 全部断开时，A、B 才同时是高电位，用电器才能工作。

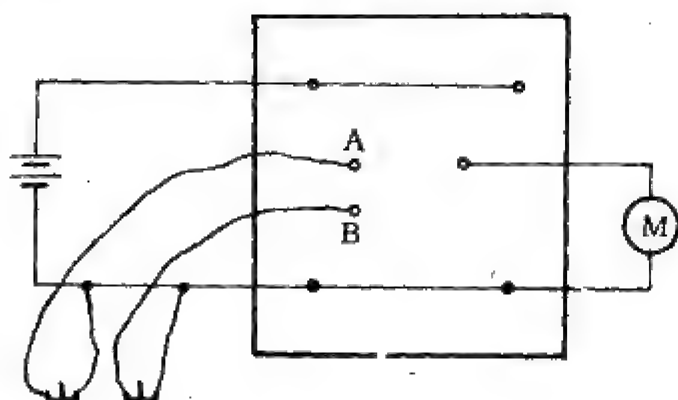


图 6-44

【制作方法】

材料：2CK 二极管两只、510Ω 电阻一只、发光二极管一只、电源、开关等。

发光二极管作为用电器，当二极管正常发光时，表明用电器工作，与门电路连接如图 6-43 所示。如果不用发光二极管，用与电源电压相符的灯泡也行。

与门电路用于生活中，大有潜力。

二、非门电路

【实验原理】

非门电路也是基本逻辑门电路之一。

“非”在逻辑上是否定的意思，在逻辑关系上就是输出的状态与输入状态相反。

非门电路实际是一个倒相器，它只有一个输入端。如图 6-45 所示，就是一个最简单的三极管非门电路。当输入端为高电位时，输出端 Y 为低电位；输入端为低电位时，输出端 Y 为高电位。

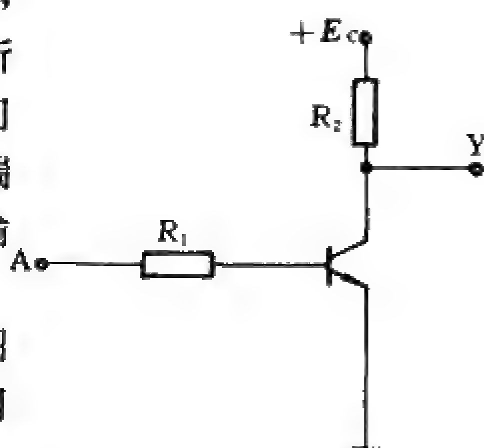


图 6-45

倘若在输出端接用电器，如图 6-46 所示，只有当 *A* 与低电位之间的开关接通时，输入端是低电位，输出端是高电位，用电器开始工作。断开开关，输入端是高电位，输出端是低电位，用电器停止工作。

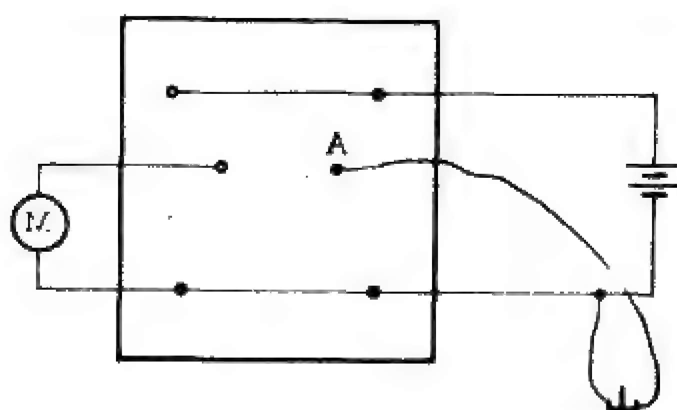


图 6-46

【制作方法】

材料：10K、1.1K 电阻各一只、3DK4A 发光二极管一只、开关一个、电源、导线等。

这里，发光二极管相当于用电器，开关闭合时，输入端是低电位，输出端 Y 是高电位，发光二极管可以发光；断开开关，输出端 Y 是低电位，发光二极管两端都是低电位则不能发光。

开关还可以用水位涨落来实验：在盐水杯底部放一导线，杯口放一导线，水位升高后两导线连通，使发光二极管工作。实际应用

中能进行水位报警。

三、与非门电路

【实验原理】

把与门电路和非门电路合起来，与门电路的输出端接非门电路的输入端，就组成了一个最简单的与非门电路。如图 6-47 所示。

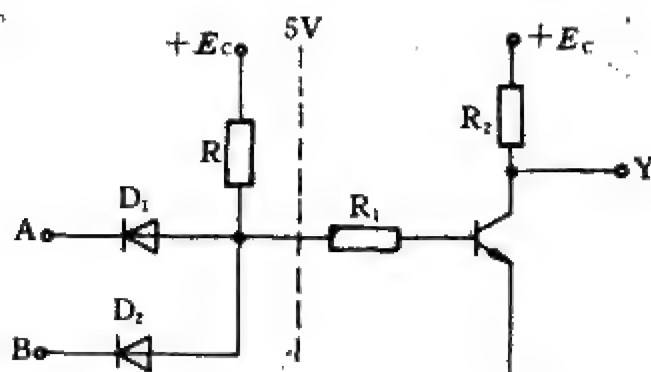


图 6-47

与非门电路具有两个输入端与一个输出端。当输入端 A、B 任意一端为低电位时，输出端为高电位；如果 A、B 两端全部为高电位时，输出端是低电位。

有趣的是，倘若与非门输入端 A、B 只用一端，另一端不用，这个与非门电路就可以作非门电路了。另外，在与非门电路后面再接一个非门电路，就成为一个与门电路。

第七章　高中物理实验教具制作

本章按照高中新教材，并结合《高中物理实验教学研究》的课程开设，选择了部分高中物理教学中的教具制作，分成力学、运动学、电学、电磁感应现象、光学、振动与波六个部分。这里有一部分教具在制作中看虽简单，但是往往有一定的难度。

§7.1　力学实验教具制作

一、物体受力时产生微小形变

【实验原理】

物体的变形总是伴随着弹性力而产生。用手压弹簧，用手拉橡皮筋，物体受力而产生的变形显而易见，但是坚硬的物体受到力的作用呢？我们可以通过如下小制作了解到：坚硬物体受力作用时，同样会产生变形。

【制作方法】

方法一

材料：一个椭圆截面的大墨瓶、一根内径很细的长玻璃管、一个橡皮塞、一块 $5\times15(cm^2)$的小三夹板、铁丝等。

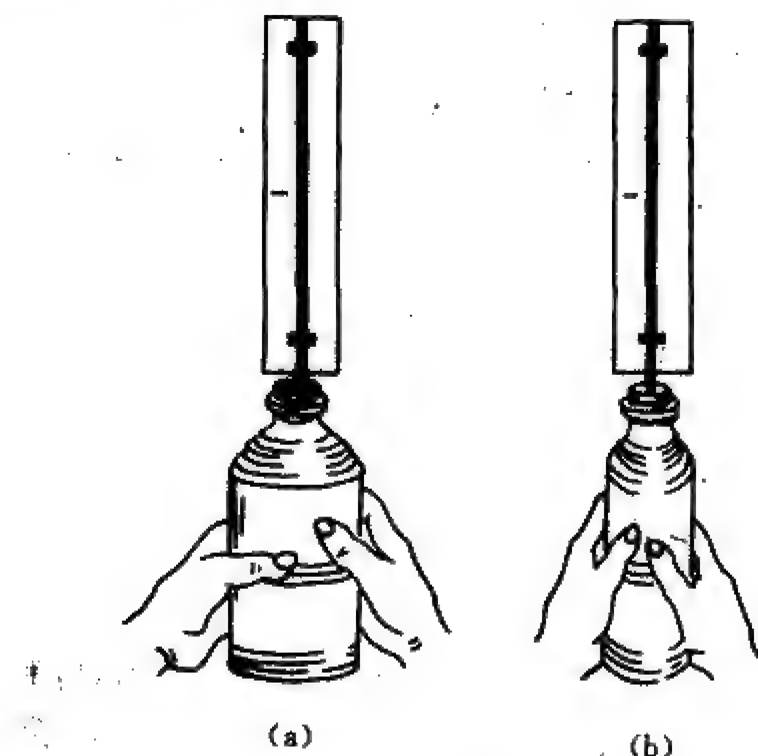
这个实验成功和要点在于制作内径很细的长玻璃管。把一根普通玻璃管放在酒精喷灯上加工（详细制作技巧参看第五章“材料加工技术”）把它拉成所需要的玻璃管。在橡皮塞中央开一个小孔，孔的粗细视玻璃管的粗细而定，三夹板上贴一张画有刻度的纸，并在三夹板下端开两个小孔，用铁丝将三夹板固定在墨水瓶的瓶颈

上。

把玻璃管插入橡皮塞，在墨水瓶中灌满深色的水后，将橡皮塞塞紧在墨水瓶上。

【实验方法】

如图 7-1 所示。



(a)　　(b)

图 7-1

1. 沿墨水瓶椭圆截面短轴方向向里挤压瓶子，细玻璃管内液柱将明显上升，如图 7-1(a)所示。这是因为玻璃瓶受力变形，使瓶内体积减小的缘故。

2. 沿墨水瓶椭圆截面长轴方向向里挤压瓶子，细玻璃管内液柱将会明显下降，如图 7-1(b)所示。这是因为玻璃瓶受力变形，使瓶内体积增大的缘故。

（金泽平提供）

方法二

材料：一个圆锥形平底烧瓶、一根内径很细的长玻璃管、一个橡皮塞。

关于内径很细的长玻璃管的制作方法与前面相同。把玻璃管插入橡皮中，在烧瓶中装满深色的水，并将橡皮塞塞紧在烧瓶瓶口上。

【实验方法】

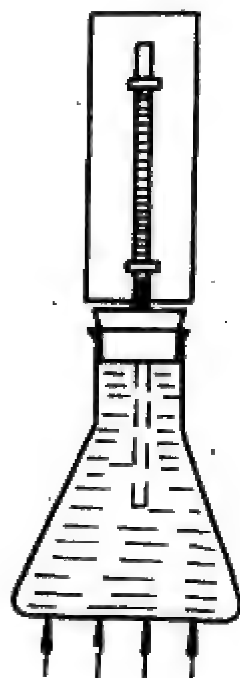


图 7-2

1. 用手指向上压瓶底，细玻璃管内液柱上升，这说明玻璃瓶受力产生形变，使瓶内体积减小。

2. 把瓶子平放在平面桌面上，我们同样也可以看到细玻璃管内液柱上升，如图 7-2 所示。

这说明玻璃瓶受到桌面的支持力同前面所受的压力一样使瓶子产生了形变。

注意：为了加强效果，可以在瓶内先放上许多钢球再装满水，由于玻璃瓶的重量增加，平放在桌上时所受桌面支持力增大，玻璃瓶形变愈大，液柱上升愈明显。

二、三角支架受力分解

【实验原理】

在实际生活当中，常常需要求一个已知力的分力。但是怎样把一个已知力进行分解？在图 7-3 所示的三角支架受力情况分析中，我们可以根据力的作用效果分别把已知力 F 分解成 F_1 和 F_2，那么力 F 的作用真的产生 F_1 与 F_2 那样的效果吗？

我们可以用三角架来研究力 F 所产生的效果。如图 7-4 所示。

OA 是直木杆，OB 是橡皮筋 BB 与细绳 OB 组成。直木杆 OA 的 A 端为一小孔，木杆插在孔中，孔的另一边是一块橡皮条。通过实验我们会发现两种情况下，直杆 OA 都会将橡皮条顶得凸起，这说明 F 在横杆 OA 上产生的效果是对横杆的压力 F_1；两种情况下，橡皮筋 BB 都会被拉长，这说明 F 在细绳（或木杆）OB 方向上产生

的效果是对细绳的拉力 F。

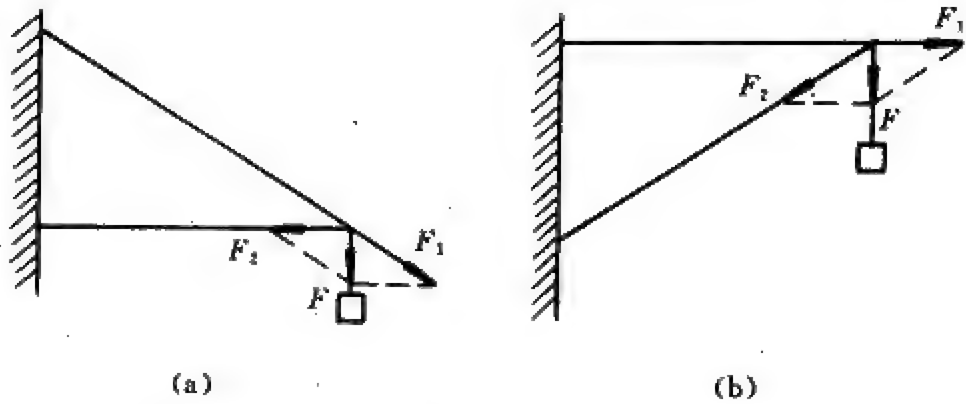


图 7-3

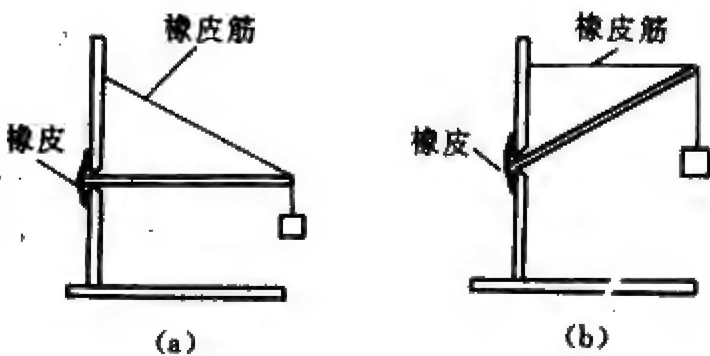


图 7-4

【制作方法】

材料：底座木板一块、5×30(cm²)木板一块、长 20cm 木棍一根、橡皮筋、橡皮条、羊眼一个、细绳等。

在 5cm×30cm 木板中央开一个能穿过木棍的孔，一边开口端用刀削大一点，一边开口端用橡皮条封住口。在木板上端固定一个羊眼，按图 7-4 所示支架钉好。

在羊眼上系一橡皮筋，橡皮筋另一端系一细绳。木棍一端开一小槽，将未开槽的一端插入槽中，然后在细绳上悬挂重物之后，把细绳放入槽中。

实验前，先测量橡皮筋的长度，实验中把悬挂重物之后橡皮筋的长度也进行测量，以便于确定橡皮筋是否被拉长(还可以研究在

悬挂同一重物的情况下橡皮筋被拉的长度)。

三、液体的表面张力

【实验原理】

由于液体表面层里分子的分布比液体内部稀疏些，所以分子间的距离比液体内部分子间的距离要大一些，分子间的相互作用主要表现为引力。正是这种引力的作用，使得液体表面有收缩到最小的趋势。液体表面的这种力叫液体表面张力。

可以用多种方法来证明这种液体表面的张力。

【制作方法】

方法一

找一块平整的木板，在四角上各钻一个小孔，用细线把木板悬挂起来。先用弹簧秤出木板的重量，再把木板放在静止的水面上，还是用弹簧秤慢慢上提称木板的重量，如图 7-5。当木板还未离开水面时，弹簧秤的读数就会超过原来的读数，一旦木板脱离水面，弹簧秤的读数又会大大减小，这多余的部分，主要是由于液体表面张力的缘故。

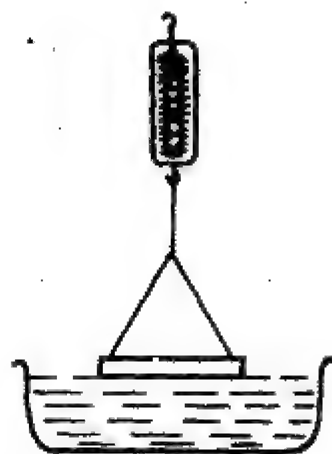


图 7-5

注意：把木板从水面向上提时，一定要使整个木板平面与水平面平行。

方法二

先把铁丝弯成弹弓状，再用漆包线一边绕一个圆环套在平行的两根铁丝上，两环可以在铁丝上滑动。漆包线中央系一根细线，以备手拉时用。

再配肥皂液。用洗涤剂与水按 1∶1 的比例配制好，然后装在一个大浅盘内。把整个弹弓浸入肥皂液后拿起，柄在上，开口向下，

用手拉线。如图 7-6(a)所示，会在弹弓与漆包线之间拉出一张平面的肥皂膜。猛地放开手，整个肥皂膜收缩，将拉着漆包线向上运动。这正是液体表面张力在做功！

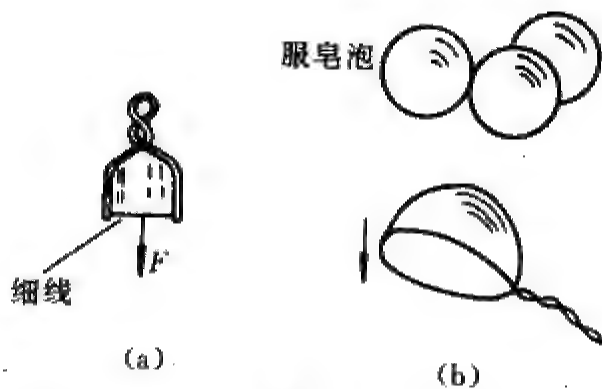


图 7-6

另外，还可以用圆环甩出许多大大小小的肥皂泡，如图 7-6(b)所示。

方法三

材料：细铁丝一根，带有软木塞的小药瓶一个、大玻璃杯一个、砂子。

用细铁丝焊一个圆环，环的直径比药瓶直径大(2～3)倍。在环上三等分处各焊一根细铁丝做支架，下端插入软木塞中，使环面与药瓶口平行。将沙子装入药瓶内，塞紧木塞，再把整个装置放在水面上，看能否漂浮。若装置不能漂浮时，必须减少砂子，直至如图 7-7 所示。

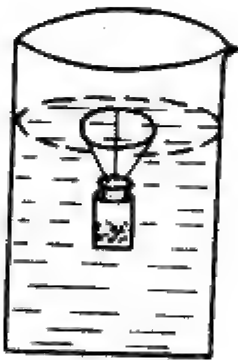


图 7-7

实验时，先把装置放在水面上，说明物体是应该能浮在水面上的，再用手把整个圆环按入水中，放开手，整个装置上升至圆环表面刚好与水面接触时，再也无法浮出水面。这说明正是液体表面张力阻碍着圆环向上运动，使整个装置无法浮出水面。

四、超重与失重现象

【实验原理】

假设一个人站在升降机的磅秤上，升降机以匀加速竖直上升和匀加速竖直下降。如图 7-8 所示。

为了讨论方便，设人重量是 mg，匀加速运动的加速度为 a，磅秤上的读数是 N，且以上各字母均是纯数量，用正、负号来表示它们的方向。

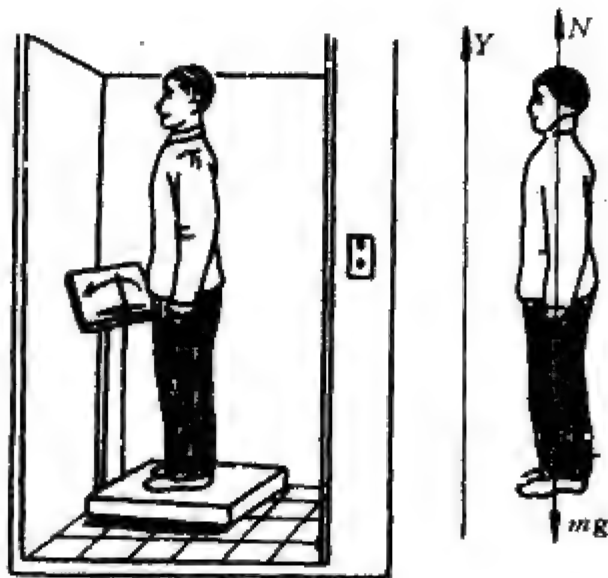


图 7-8

设竖直向上为正方向。

第一种情况下，升降机向上匀加速运动，磅秤上的读数为

$$N = mg + ma = m(g + a) > mg$$

我们把人在这种情况下所处的状态叫“超重”现象。

第二种情况下，升降机向下匀加速运动，

$$N = mg - ma = m(g - a) < mg$$

我们把人在这种情况下所处的状态叫“失重”现象。

同样，当物体竖直向下匀减速与向上匀减速运动时，也会有超重与失重现象。分析的方法是一样的。

我们可以自制仪器，用几种方法来说明这个道理。

【制作方法】

方法一

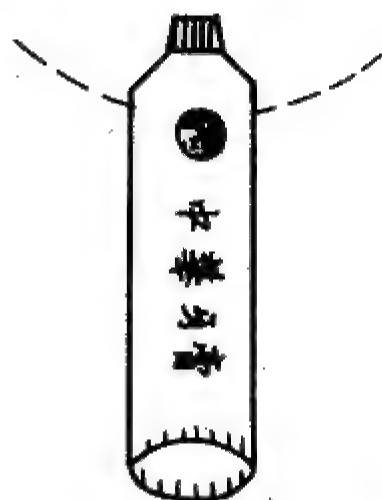
材料：废牙膏皮

找来一支废牙膏皮，拧下盖，打开后面卷着部分，用圆木棍把它鼓起来，洗净里面的残存牙膏。

用针在牙膏皮靠近盖帽的圆筒两对边各钻一小孔，盖好盖。小孔不要过大，把牙膏皮装满水后，水刚好能射出为宜。

实验时，用一个桶接大半桶水放在牙膏皮运动的正下方。

先将牙膏皮装满水，手持牙膏皮上端不动，可以看到水从小孔里射出，见图 7-9。


图 7-9

迅速手持牙膏皮向上匀加速运动，可以看到小孔里喷出的水比刚才喷得更急、更远。这是因为筒内的水处于超重状态，它对牙膏皮筒壁的压力增大的结果。

再将牙膏皮装满水，手持牙膏皮筒在高处不动，可以看到水从小孔里射出。突然丢手，让牙膏皮做自由落体运动。大家可以看见原来向外喷水的牙膏皮，在向下落时，一点水也不向外喷射！这是因为水处于失重状态时，它对牙膏筒壁的压力几乎减小为零了。

（方进提供）

方法二

材料：空高橙饮料瓶一个、软弹簧一根、1 号电池两节、小电珠一颗、$8\times20cm^2$ 三夹板一块、导线、铁皮、细线等。

用剪刀去掉饮料瓶底部与上部，留下中间透明塑料部分。

在三夹板下端固定一块铁皮作软弹簧的底座，由软弹簧引出

一根导线接小电珠。剪一略大于1号电池直径的圆铜片，圆铜片中央开一直径3mm的小孔，然后把这圆铜片套在一节电池上并焊牢。把没焊铜片的电池放在软弹簧上，焊有铜片的电池放在这个电池上面并用透明塑料卷成筒状套在电池外面，将透明塑料筒固定在三夹板上。

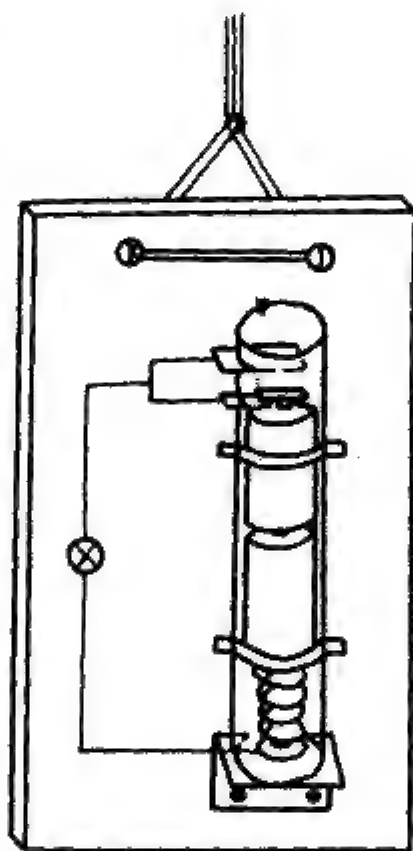


图7-10

用一块尖头金属片在酒精灯上加热后，在塑料圆筒上略高于电池铜片处烫两个小孔，用以插入金属片用，插入的金属片引一根导线接小电珠。在略低于电池的铜片处烫一孔，插一小块金属片，也将金属片引出一根导线接小电珠。最后，在三夹板上端中央钻一小孔，穿入一根约1.5m长的细线作为吊线。如图7-10。

先做超重实验：抽出上面的金属片，手持三夹板上端，此时小电珠不发光。从下向上突然加速运动，处于超重状态的电池更加压缩弹簧，使得铜片与下金属片接触，小电珠发光。

再做失重实验：将上面的金属片插进塑料筒的孔中，手持三夹板上端，手心里握有细线(可以把线头绕在手指上)此时小电珠不发光。突然释放三夹板，三夹板向下做自由落体运动，失重的电池使得弹簧不再被压缩，铜片与上端金属片接触，小电珠发光。

(李永提供)

§7.2　运动学实验教具制作

一、运动学计时器

【实验原理】

在“直线运动”这一章里，我们将研究匀加速直线运动、匀减速直线运动和自由落体运动。我们可以自制一套简易装置，利用秒表进行精确地计时。如图 7-11 所示。

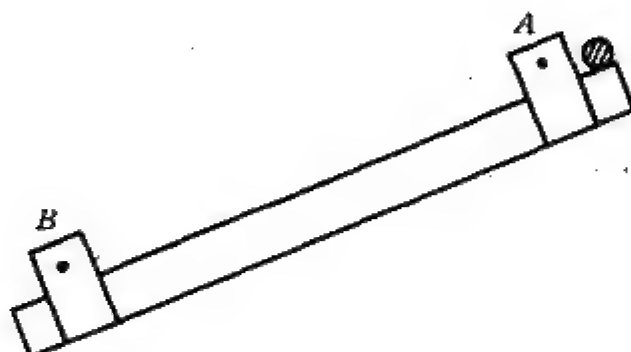


图 7-11

小球从斜面上向下做初速度为零的匀加速直线运动，经过 A 点开始计时，在 B 点时停止计时，这样就测定了小球经过 AB 这一段距离所用过的时间 t，测量出 AB 间的距离 S，则

$$S=\frac{1}{2}at^2,\quad \therefore a=\frac{2S}{t^2}。$$

能够计算出小球在此运动中的加速度。

还可以求出小球在 AB 间的平均速度

$$\overline{V}=\frac{S}{t}$$

如果将 A 点移到开始运动的起点，能够求出小球经过 B 点的即时速度

$$V_B = at = \frac{2S}{t}$$

使小球沿斜面向上作匀减速直线运动，同样可以用这套装置进行测量。若把装置竖起来，还可以研究自由落体运动。

【制作方法】

材料：2.2*V* 聚光电珠两颗、光电二极管两只、3*DG*6 三极管两只、*JRXB*-1 型继电器一个、2*CP* 二极管一只、300*K*，10*K* 电阻各一只、电键两个、电源、导线、铁丝等。

附加装置电路图如图 7-12 所示。

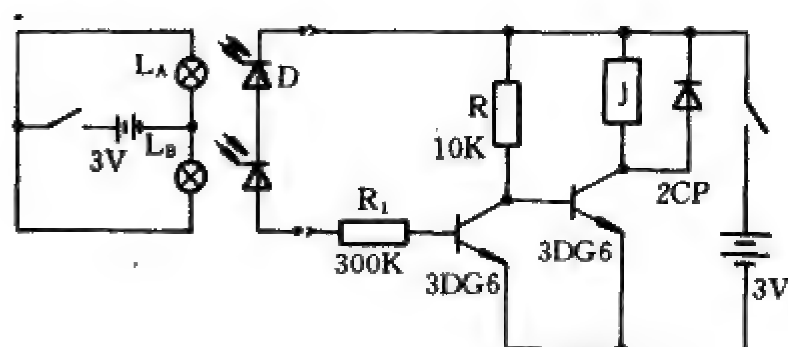


图 7-12

继电器工作电路引出线直接接秒表的"启动/停止"。可以先把秒表后盖打开，从"启动/停止"键下先引出两条导线，使用时接在继电器工作电路引出线上。

用铁丝弯成两个支架，在斜面的 *A* 点固定 *L* 与 *D*，*B* 点固定 *L* 与 *D*。

二、研究运动相对性原理

【实验原理】

设计这样一辆小车，如图 7-13 所示，小车上端挂一个电磁铁，电磁铁上吸着一个小球。

当小球作匀速直线运动时，车上的"人"观察小球是相对静止

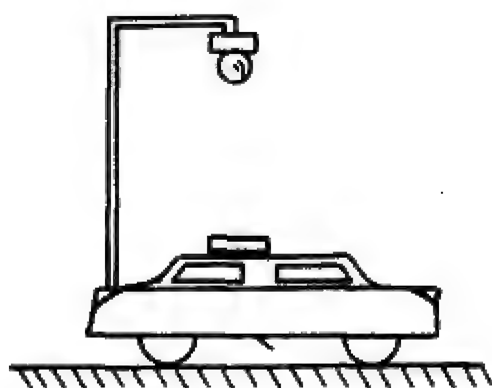


图 7-13

的，小车行驶途中电磁铁断电释放小球，小球正下方有一个铁盖正好接住小球。车上观察者认为小球被释放后仅受重力作用应该做自由落体运动。但车外的观察者认为小球做的是平抛物体的运动，因为小球在下落的同时，在水平方向还移动了一段距离。

【制作方法】

材料：玩具小汽车一辆、电磁铁一个、小钢球一个、酒瓶盖一个、5 号电池 4 节、2.0 铁丝两根、导线等。

将玩具小汽车底座螺丝下掉，打开外壳，把两根铁丝固定在汽车尾部上，铁丝上固定一个电磁铁，电磁铁的两根引出导线沿铁丝穿入小汽车内。电磁铁正下方，找一个比小钢球直径略大一点的饮料瓶盖开口向上，用粘胶固定在小汽车顶部的外壳上。

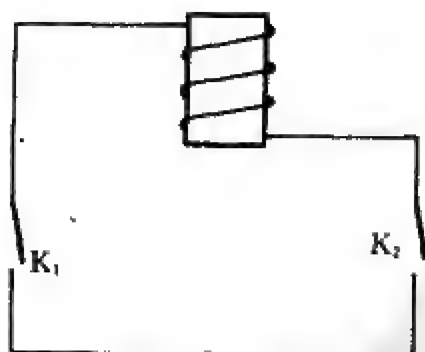


图 7-14

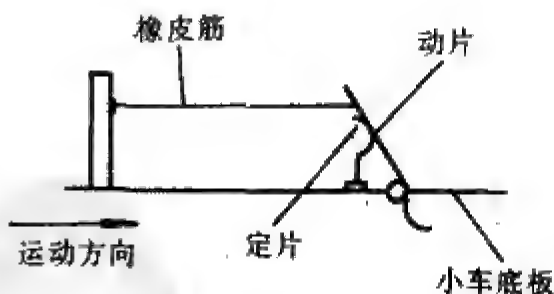


图 7-15

整个装置电路如图 7-14 所示开关 K 是引出车外的外开关，接通 K 则电磁铁通电可以吸住小球(K 通常处于闭合状态)。K 是碰撞开关。设在小汽车底部，能够在小汽车行驶途中经障碍物碰撞时使电磁铁断电，小球被释放。电池组是由四节 1.5V 的 5 号电池串联起来，固定于小汽车内的车底板上。电磁铁可以自行绕制，用

0.55mm 漆包线绕上(250～400)匝，穿上铁芯即可。

自制中难度最大的是碰撞开关。碰撞开关在小车行驶时不能由于震动而接触不好，也不能经轻微撞击后不能断开。我们这样设计：如图 7-15 所示。铝片长 20mm，宽 5mm，中间钻有一个小孔，能绕作为轴的铁丝转动。用一根橡皮筋把铝片拉紧，使其紧密接触定片，定片与电池相连。车底板上开有小孔，使铝片的另一端伸出车底与障碍物碰撞。经障碍物碰撞后，铝片绕轴转动，反方向拉紧橡皮筋，使铝片与定片脱离接触，电磁铁断电，小球下落。碰撞后，在弹力作用下，铝片与定片恢复接触。

【实验方法】

1. 在小汽车前端系一根细线。

2. 在小汽车行驶的路线上放一厚玻璃片(或金属块)作障碍物。

3. 接通 K，将小球吸在电磁铁上。

4. 用细线拉着小汽车，使其做匀速直线运动。小汽车经过障碍物，小钢球被释放，落入铁盖内。

三、自制牛顿管

【实验原理】

教材中演示自由落体运动的抽成真空的玻璃筒，俗称“毛线管”，又叫作牛顿管。牛顿管一端封闭，另一端带有气嘴的金属盖封固，气嘴上装有活栓，管内装有金属片(可用硬币)和羽毛。

当管内未抽成真空时，把管子突然颠倒，金属片会先落下来，羽毛后落下来，这是因为空气阻力不同的缘故。如果用抽气机把管内气体抽出，金属片和羽毛会同时下落。

可以自己做一支牛顿管来做自由落体实验。

【制作方法】

材料：废旧“220V，40W”日光灯管一支，3mm 玻璃管一根(长约 8cm)、橡胶管一段、直径 2.8cm 橡胶塞一个、封口夹一个、粘胶

等。

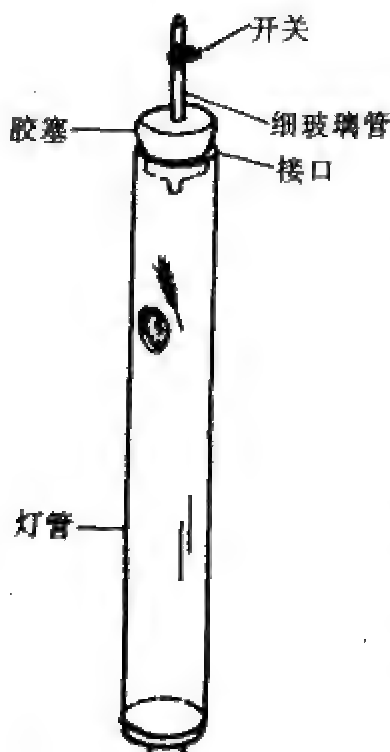


图 7-16

用钳子轻轻除去灯管一端的铝皮，钳破原抽气小管，放空气进入管内。用硬物轻敲管端头内沿灯丝的底部，使内部灯丝座与管端脱裂。继续用硬物轻敲裂口，使裂口成为圆形（$D=2.8$cm）。倒出内部杂物，装进一些细沙，加入少量水，左右摇荡，能除去内部荧光粉，使玻璃管透明。然后将管洗净，倒立晾干，并用酒精灯向上螺旋状加热数次，使管壁足够干燥，最后放入预先准备好的羽毛和硬币，在管口塞上插有玻璃管的橡胶塞，用粘胶密封固定。为了与抽气机相接，用橡胶管套在玻璃管上，在管上加一封口夹。如图 7-16。

制作中要注意，一定先把空气放入管内，再除掉灯丝座，否则会损坏玻璃管。

【实验方法】

1. 将管忽然颠倒竖起来，让硬币与羽毛下落，观察两者下落情况，会看到硬币比羽毛下落得快。

2. 将封口夹打开，用手摇抽气机抽气，大约 5 分钟以后，合上封口夹，使橡胶管封闭，抽出抽气机连接管。

3. 将管突然颠倒竖立起来，观察硬币与羽毛的下落情况，会发现二者下落得一样快。

（秦亮桢提供）

四、反冲运动

【实验原理】

根据动量守恒定律，大炮发射炮弹，炮身会向后运动，炮身的这种运动通常称为反冲运动。这是因为大炮发射前，整个系统处于静止状态，总动量为零。发射炮弹时，火药在炮筒中爆发，气体膨胀推动炮弹向前运动，同时膨胀的气体也推动了炮身。由于系统没有受到外力的作用，在量值上，炮弹获得向前的动量与炮身获得向后的动量相等。

可以举出许多这种反冲运动的例子。

【制作方法】

方法一

材料：空易拉罐一个、细线。

为便于灌水，将空易拉罐上部开口处扩大或去掉上部。用小铁钉（或锥子）在罐下部边缘钻（4～6）个小孔，钻好每个孔后用铁钉向同一个方向压一下。

在易拉罐上部钻三个小孔，将细线穿过去，在高处系一结用于悬挂易拉罐。

准备一只水桶，把易拉罐装满水后提起在水桶上，水从各个小孔里喷射水来，易拉罐向相反的方向旋转。如图 7-17。

方法二

材料：二节废 5 号小电池、橡皮泥、细铁丝、细线、酒精。

将电池上盖去掉，掏出电池芯，把内壁冲洗干净。用铁钉在两电池外壳的底部中央各钻一个小孔，然后用橡皮泥把开口端密封起来，密封处做成尖头状。用细铁丝连接两电池外壳中部并用细线悬挂起来，如图 7-18 所示。

实验时，用注射器从小孔里注入酒精，用火柴同时将两只小“火箭”点火，小“火箭”立即会从尾部小孔里喷出火来。同时，火箭

向相反的方向快速运动起来。

（徐华提供）

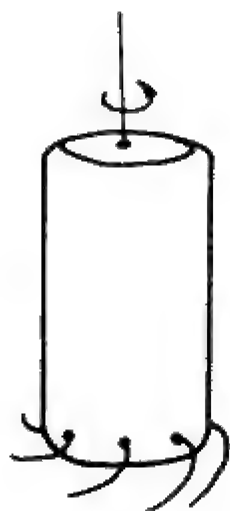


图 7-17

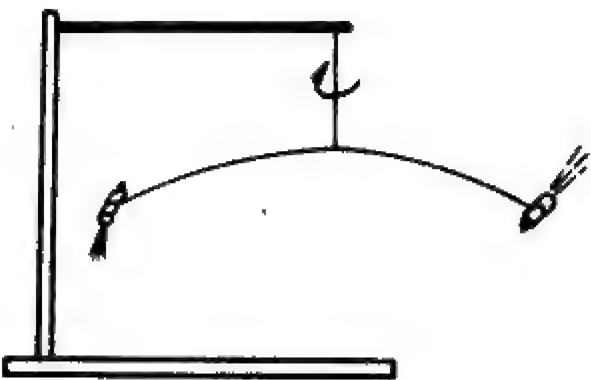


图 7-18

五、平抛运动的竖直分运动

【实验原理】

图 7-19 是一个可以同时显示平抛运动与自由落体运动的装置。

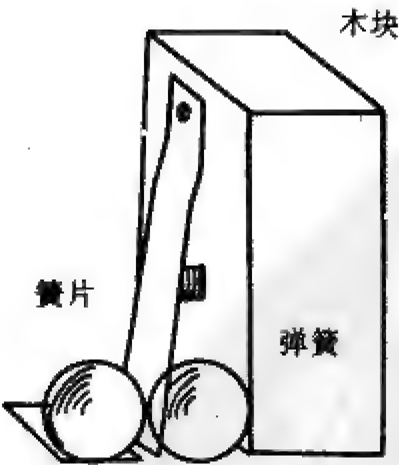


图 7-19

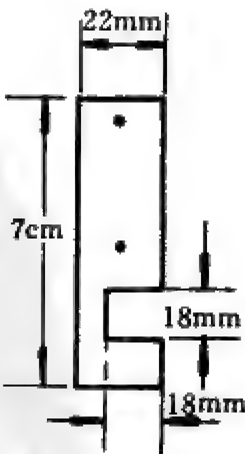


图 7-20

簧片夹着小球 A，小球 B 与 A 处于同一高度，放在一小块平

板上。簧片弹出时，可击打B使其做平抛物体运动，同时小球A被松开而向下做自由落体。无论B球在水平方向上运动多远的距离，它总是会与小球A同时落地。这就证明了平抛物体的分运动是自由落体运动。

【制作方法】

材料：5×12×3(cm^3)木板一块、长11cm包装箱铁条一根、小弹簧一根、玻璃球两个、铁皮、铁钉等。

铁皮按图7-20所示尺寸剪好一个缺口，然后将其钉在木板端部。距铁皮4cm。将弹簧固定在木板上，下端可以压紧弹簧。

【实验方法】

1. 先把整个装置可以平放在桌子边缘或水平支持物上。

2. 用簧片压缩弹簧，并夹一颗玻璃球在簧片端部，然后把另一玻璃球放在铁皮上。

3. 松开压簧片的手指，使簧片弹出，两玻璃球同时开始运动并同时落地。

六、浮沉子做曲线运动

【实验原理】

浮沉子一般用玻璃瓶做成，倘若我们在浮沉子的上部缠上几圈铁丝，利用磁铁对铁质物体的吸引力，就可以改变浮沉子的运动方向，使其做曲线运动。

这个实验可以演示"力是使物体改变运动方向的原因"。



图7-21

【制作方法】

参看第二章"浮沉子"的制作方法，注意用细铁丝在玻璃瓶的底部缠绕(3～4)圈(玻璃瓶是开口向下运动的)。

【实验方法】

1. 用手捏盖紧了的饮料瓶中部，浮沉子下

沉。放手后，浮沉子将竖直上升到水面。

2. 再用手捏紧饮料瓶，使浮沉子下沉到瓶底。将磁铁放在饮料瓶颈一侧，放开手，浮沉子上升同时，会向有磁铁的一边偏折，做曲线运动，如图 7-21 所示。

七、水滴的曲线运动

【实验原理】

磨擦可以使物体带电，带电体能吸引它附近的细小物体。

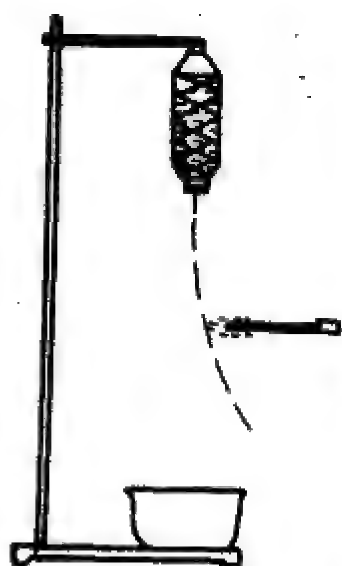


图 7-22

如图 7-22 所示，一束细小的水流竖直下落，用一带电体靠近水柱时，会对水柱中的水滴产生吸引力作用，从而改变水柱的运动方向，使水柱做曲线运动。

【制作方法】

材料：医用盐水瓶一个、医用双通插头一支、限流夹一个、一次性注射输液软管一根、废塑料柄牙刷一只、丝绸或毛皮(羊毛衫碎片也行)。

将医用盐水瓶盛满水，瓶塞依旧塞紧。把双通插头插入橡皮塞，用很短一截软管套在双通插头的直管上，并用限流夹限流。

把盐水瓶竖直搁置起来，调节限流夹，使很细水柱竖直向下流。

用丝绸或毛皮磨擦牙刷柄，然后把牙刷柄靠近水柱，可以看到原来直线向下的水柱在电场力的作用下改变了运动方向，形成了一段曲线。

§ 7.3　振动与波实验教具制作

一、受迫振动

如图 7-23 所示。

用手有节奏地压铁片，使下面的振子在周期性策动力的作用下做受迫振动，策动力的周期就等于振子受迫振动的周期。改变手压铁片的频率，振子受迫振动的频率亦随之改变

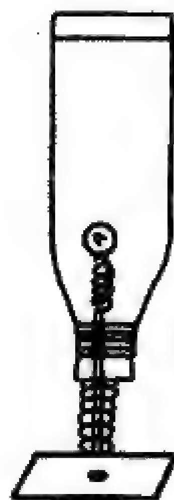


图 7-23

【制作方法】

材料：空高橙饮料瓶一个、小铁皮一块、小木塞（或橡皮塞一个）倔强系数一大一小的弹簧各一个（倔强系数小的弹簧可以用橡皮筋代替）、直径 15mm 的小铁球一个（玻璃球亦可）、细铁丝一小截。

先剥掉高橙瓶的外壳包装纸，使其透明。将小木塞中心钻一个小孔，按前图的方法把它们装配起来。注意细铁丝下端与倔强系数小的弹簧固定，上端穿过倔强系数大的弹簧与铁皮固定，铁皮略大于弹簧直径，平放在弹簧上。

【实验方法】

1. 用铁夹子夹住铁丝伸出小木塞处，使其不能上下移动。将瓶子拿起来上下摇动数下，放回桌面，此时振子振动起来，且振幅逐渐减小，几分钟之后停下来。这种振幅越来越小的振动即是阻尼振动。

2. 用一个周期性的力压铁皮，振子会在这种周期性的策动力作用下持续振动起来。这种物体在周期性外力作用下的振动叫受迫振动。

3. 以不同频率的策动力压铁皮，振子就以不同的频率持续振动。这说明物体受迫振动的频率等于策动力的频率，而跟物体固有频率无关。

二、声波在空气中传播速度的测定

【实验原理】

波在传播时，波速、波长与频率有如下关系：

$$v = \lambda f$$

如果我们已知波的频率 f，测出波的波长 λ，就可以求出波速 v。

假设在一长玻璃管口有一已知频率的声源，管口装有可以调节高度的水柱。声源发出的波在玻璃管口传播会经水面反射到管口，入射波与反射波互相叠加，产生声波的干涉现象。如果我们改变水柱的高度，我们可以在管口一次、再次、第三次……听到最强的声音。

相邻两次听到最强声音的水柱面高度之差（参看图 7-24）一定等于半个波长。

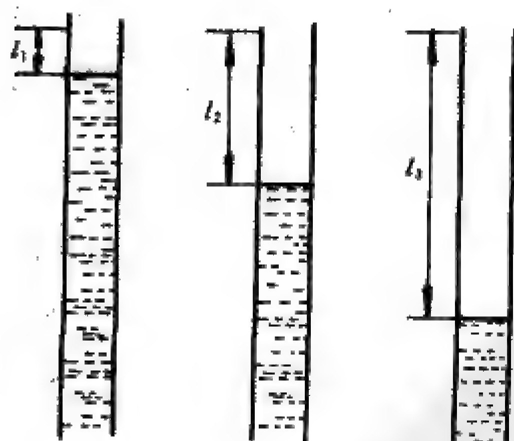


图 7-24

即：$l_2 - l_1 = \frac{1}{2}\lambda$；

$l_3 - l_2 = \frac{1}{2}\lambda$；

·

·

·

$l_n - l_{n-1} = \frac{1}{2}\lambda$。

测量出 l_1、l_2、l_3、…、l_{n-1} 代入上式，可以测出声波的波长（取平均值）λ。

前面假设声源的频率 f 已知，故可求出声波在空气中的波速

v。

【制作方法】

材料：40W 废日光灯管、一次性输液软管、空高橙饮料瓶、木板（$5\times80cm^2$）、废圆珠芯一支、音叉、粘胶等。

用钳子轻轻除去日光灯管两端的铝皮，然后把一端锉开口，另一端保留抽气小玻璃管。从锉开的一端倒出管内杂物，装进少量细沙与水，沿管轴方向摆动，利用水和沙洗管壁内的荧光粉，把水和沙倒出洗净管壁。

用饮料瓶作一个连通器。在饮料瓶下部用铁钉烫一小口，插入一空圆珠笔芯管，用胶粘牢。把软管一端插在圆珠笔芯管上，一端与日光灯保留的玻璃管相接。

在木板上贴一张白纸，并画出刻度线，将日光灯管固牢在木板一侧。最后在木板顶端开一小孔，以便插入音叉的手柄，并使音叉置于管口上方。饮料瓶要能在支架杆上调节高度并固牢。整个装置如图 7-25 所示。

【实验方法】

1. 利用饮料瓶连通器向管里注水，直至接近管口。

2. 敲击音叉，并使饮料瓶自上而下移动，使水柱面下降。在管口听到声音最强时停止移动饮料瓶，固定其高度，记下此时刻度尺上的读数。

3. 重复步骤 2，找到相邻声音最强时刻度尺的读数。

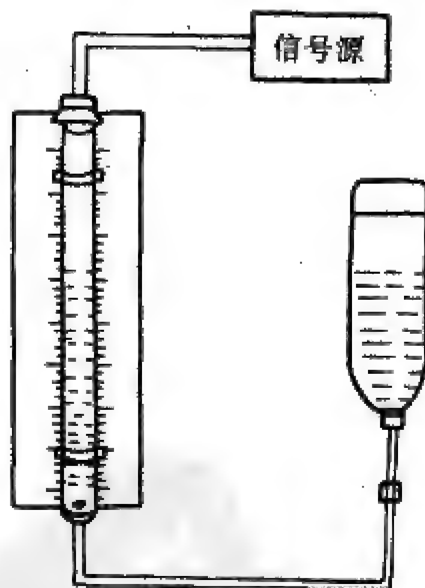


图 7-25

4. 利用前面的公式，算出声波波长值，再由波速、波长、频率的关系式计算出声波在空气中的传播速度。

5. 改用不同频率的音叉，用同样的方法测出声音在空气中的

传播速度。比较一下。

注意：可以不用音叉，把扬声器固定在管口处，扬声器再接学生信号源，信号源调节到一定的频率输出信号，使扬声器作为声源。

（邹维民提供）

§7.4 电学实验教具制作

一、自制箔片验电器

【制作方法】

材料：空酱菜玻璃瓶一个、铜丝一小截、香烟盒铝箔包装纸等。

在酱菜瓶盖中央开一小孔，把铜丝穿入孔中，瓶盖外端弯曲成环状，瓶盖内侧弯曲成“*L*”状。剪一张长条铝箔纸，铝箔面相对折叠，折叠处粘贴在铜丝下端，尽量使铜与箔条相接触。如图 7-26 所示。

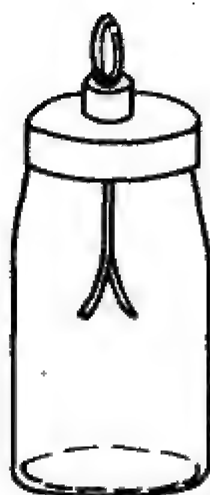


图 7-26



图 7-27

实验时，将瓶盖盖好，用带电体接触铜丝环，通过透明玻璃瓶可以看到两箔片张开。

（胡国元提供）

二、自制验电球

材料：空洗发精塑料瓶一只、乒乓球一只、香烟盒铝箔纸、粘胶等。

先把乒乓球粘接在塑料瓶口，再把一张铝箔纸箔面向外粘贴在乒乓球上。

剪许多条宽约 4mm 的铝箔条，每条约长 15cm 左右，每条箔片箔面向球粘贴在乒乓球上把乒乓球都贴满。

实验时，从手摇感应起电机上接一导线乒乓球相连，摇动起电机，验电球上的箔条部张开如球状。参看图 7-27。

（张爱武、方新民提供）

三、自制导电纸

【制作方法】

描绘静电场中的等势线时，需要用到导电纸，自制的导电纸一样好用。

方法一

材料：废干电池、胶水、废报纸

先把废干电池中的碳棒取出，捣碎后放入容器中用水湿润，逐渐加入胶水并不断搅拌，使其成为油漆状粘稠状态，再用纱布过滤。

将这种导电涂料均匀涂刷在纸上，待晒干或烘干后便可使用。

方法二

材料：普通白纸、碳素墨水

在普通白纸下垫一薄膜，用板刷均匀刷上一层书写碳素墨水，待晒干或烘干后再刷一次，干后即可使用。

方法三

材料：糊精、白纸、石墨粉(或废干电碳棒细末)。

加少量清水到糊精里搅拌匀，再涂抹在白纸上，用两层棉纱包着石墨粉在纸上筛洒，待干后即可使用。

四、静电除烟

【实验原理】

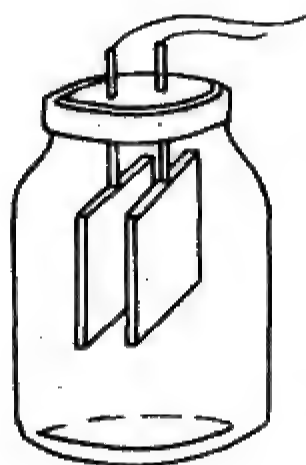


图 7-28

如图 7-28 所示。

简易空气清洁原理装置是由容器与平行放置的两块金属板制成，假定 A 板接高压电源正极，B 板接高压电源负极，AB 极板间存有很强静电场。当容器内充满烟气时，在强大的静电场内，空气分子将会电离成电子与正离子。正离子跑到 B 板得到电子又重新变成空气分子。电子则在奔向 A 板的过程中，遇到烟气分子并使之带负电被吸到 A 极板上，经过很短的时间，容器内的烟气分子很快消失，充满清洁空气。

【制作方法】

材料：空水果罐头瓶一个(带塑料盖)、4.5cm×9cm 铁皮两块、6cm 长 2 号电丝两根。

用砂纸打磨两铁皮、铁丝、用大功率电铬铁焊接(先用盐酸处理一下焊接处更好)。

在罐头瓶塑料盖上钻两个小孔，两孔相距 20mm，然后把铁丝从盖内穿至盖外，盖在瓶上。

【实验方法】

1. 把感应起电机两电极分开，各用一根导线接在两铁丝上。

2. 打开瓶盖，抽一口香烟向瓶里喷去(或把瓶口向下放在点燃

的蚊香上方(1～2)分钟)，立即盖上瓶盖，瓶中充满烟气。

3. 摇动感应起电机，瓶内烟气马上成一缕缕的，然后立即全部消失干净。

五、静电植绒

【实验原理】

如图 7-29。在 A、B 两个极板上加上高压，A、B 之间将在存有强静电场。若在下面的 B 极板上放一些轻小的绒絮，这些绒絮将带上与 B 极板相同的电荷，并受到 B 极板的排斥和 A 极板的吸引，在电场力作用下由 B 板向 A 板运动。如果我们事先在 A 板上按自己的要求用胶水绘出需要的图案，这些轻小的绒絮到达 A 板后就会粘附在 A 板的胶水上。撤去电场，A 板上就显现出原先设计的图案。

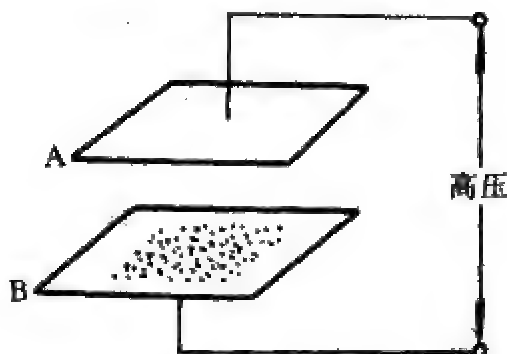
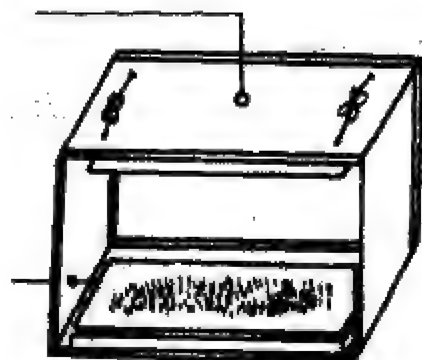


图 7-29


图 7-30

【制作方法】

材料：两块 8cm×15cm 的铁片、一块 10cm×18cm 厚木板、8×10cm三夹板两块、10×18cm 三夹板一块、10×15cm 玻璃两块、8×15cm 泡沫一块、导线、细线等。

按图 7-30 所示把框架组装起来，下面的铁片直接水平放在泡沫上，并焊一根导线引出框外。在上面的铁片四个角上钻四个小孔，各系一根细线从上面的三夹板上穿出，并在板上系牢(这四根线的长短可以调节上铁片与下铁片平行，还能调节两极板间的距

离)。上铁片也引一根导线出框架。

前后的玻璃板要便于取下来。

绒絮可以在旧绒衣上剪成短絮待用。

【实验方法】

1. 先在一张 8cm×15cm 的纸上用胶水画出需要的图案。

2. 取下前面的玻璃或后面的玻璃,图案纸贴在上铁皮的下表面上。在下表面上撒满绒絮。

3. 把前后两玻璃盖盖好,调节细线使两极板之间距离适当并且平行,然后系牢细线。

4. 两根引出导线接手摇感应起电机的两根放电杆上,转动起电机,绒絮在两极板间飞舞。1 分钟后,将两放电杆放电,取下玻璃,从上铁片揭下白纸。白纸上会留下绒的图案。

六、电学"黑箱"

【实验原理】

为了复习巩固所学的电学知识,我们可以用"黑箱"来进行检验。

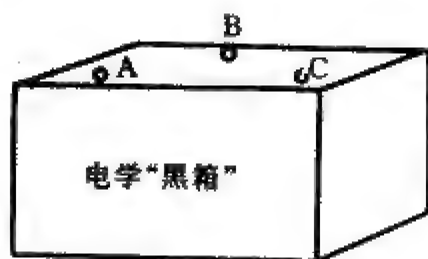


图 7-31

"黑箱"的外表面共有三个触点 A、B、C,如图 7-31 在这三个触点之间,可以把电阻、电容、二极管、导线等元件接上去。也可以接电池,但一定要慎重,否则容易损坏万用表。所有的元件接在"黑箱"内,只能利用万用表来进行测量,从而判断"黑箱"里究竟有什么元件?是怎样连接的?

例如,A、B、C 三点之间有多种连接方式,如下图 7-32。

【制作方法】

材料:空皮鞋纸盒一个、小铜螺丝三颗、鳄鱼夹六个、导线、待接元件等。

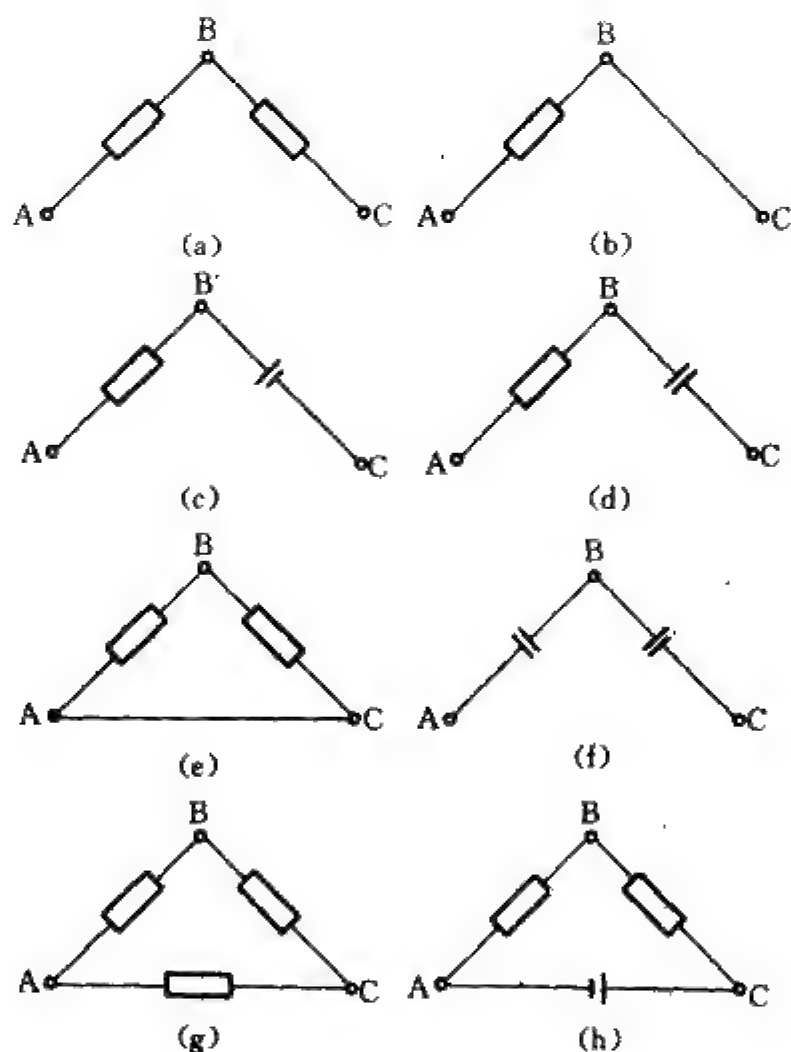


图 7-32

空纸盒就是“黑箱”，纸盒盖就是接线板。在板盒盖上按图 7-31 钻三个小孔，将螺丝穿入孔中，螺丝头在盒外作为触点。盒盖内侧每颗螺丝用垫片和螺母固定两根导线，导线另一端焊接鳄鱼夹。

【实验方法】

1. 在图 7-32 中选一种方案把元件接在鳄鱼夹之间，再把盒盖盖在纸盒上（盒外只见三个触点）。

2. 让其他同学用万用表测试，确定“黑箱”内有何元件及连接方式。

3. 更换箱内元件与连接方式再做。

§7.5 电磁部分教具制作

一、通电导体在磁场中受力

【实验原理】

磁场的基本特性是对放入其中的电流有力的作用。我们可以用实验来证明这种力的存在，并且找出判定这种力的方法(左手定则)。

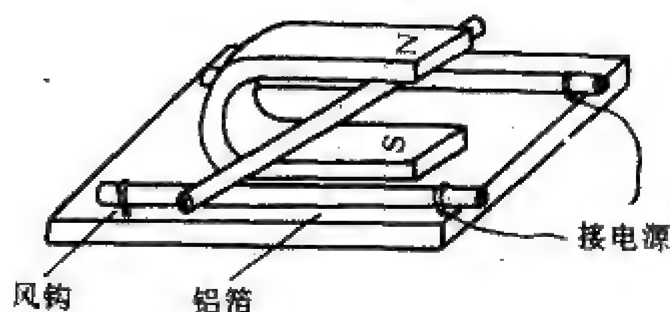


图 7-33

在图 7-33 中，磁场由碲形磁铁提供，通电导体由香烟铝箔纸构成回路，整个装置十分简单。通电导体是由铝箔纸制成，导电好、重量轻，一旦两导轨上通电，在磁场力作用下，它会迅速向某一个方向滚动。

【制作方法】

材料：23cm×20cm 木板一块(厚 3cm)、风钩 4 个、香烟盒铝箔纸、木螺钉两个、导线、透明胶布等。

将铝箔纸裁成 8cm×20cm 三张，找一细玻璃棒衬垫，用铝箔纸卷成三根圆棍(箔面向外)，用胶水把纸口粘牢。

如图 7-33 所示，把 4 个风钩平行对称固定在底板上，将 2 根铝箔棍作为导轨穿入风钩孔中，在铝箔棍的一端中用透明胶布粘牢一根导线，引到接线柱上。

第三根铝箔棍横放在导轨上。

如果铝箔棍硬度不够，可以把铝泊纸卷在圆筷子上或细玻璃管上。

【实验方法】

1. 碲形磁铁放在木板中央，通电导体（铝箔棍）平放在导轨上。

2. 接通电源（2 节 1.5V）电池即可，通电导体在磁场中明显受力滚动。

3. 调换接线柱上电源输入的正负极，各做一次，会看见通电导体向相反方向滚动。

根据实验现象，自己总结左手定则。

注意：电路接通瞬间，铝箔片会放电打火而脱箔，做（2～3）次后，把铝箔棍转动一下，使通电导体与导轨之间接触良好。另外，通电时间不宜太长。

（刘谦军、李化云提供）

二、电磁感应现象

【实验原理】

电能产生磁、磁也能产生电。

用一闭合导线在磁场中运动，使穿过闭合导线的磁通量发生变化，此时闭合导线中会有感生电流，我们可以用发光二极管把这种感生电流的效应显现出来。

如图 7-34 所示。

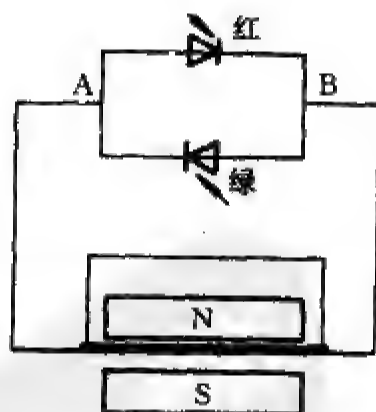


图 7-34

把两只不同颜色的发光二极管并联之后，接在闭合回路中。当闭合回路的线圈如图在磁场中垂直于纸面向里或向外运动时，A、B 两端产生感生电动势。若红灯亮，说明 A 点电位高于 B 点的电位；若绿灯亮，说明 A 点的电位

低于 B 点的电位。这样很容易判定感生电流的方向。

【制作方法】

0.5mm 漆包线、红绿发光二极管各一只。

选一个 4cm×6cm 的长木块做绕漆包线的衬物，绕制一个内径为 4cm×6cm 的矩形线圈，密绕（400～600）匝，绕完后退出木块。将两只红、绿发光二极管并联焊接在接头处（二极管极性相反）。焊接后将两只二极管分别固定在矩形线圈的两个对边上，以便于观察。

【实验方法】

1. 用一个大号的蹄形磁铁 N 极在上，S 极在下放于桌面上，手持线圈套入 N 极中，突然拉出线圈，其中一只灯会亮（红灯亮，说明感生电流方向是 $A \to B \to C \to D \to A$；绿灯亮，说明感生电流方向是 $A \to D \to C \to B \to A$）。

2. 又将线圈对准 N 极快速套进去，另一发光二极管将发光。这说明两种情况下的感生电动势的方向相反。

3. 把蹄形磁铁翻过来，S 极在上，N 极在下，重做步骤 1、2，再根据实验现象进行总结。

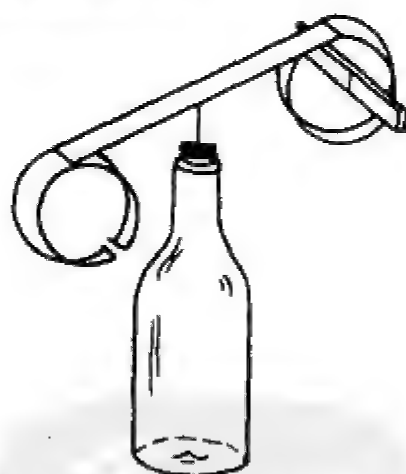


图 7-35

三、楞次定律实验

【实验原理】

我们常常用铝环来做楞次定律实验，实际上，随手找点材料，经加工后也能做。

如图 7-35 所示，当我们用条形磁铁迅速插入闭合金属环时（注意不要让磁铁碰到金属环），可以看到金属环顺着磁铁动起来；把条形磁铁从金属环中迅速抽出来时，金属环也会顺着磁铁运动方向动起来。当我们把条形磁铁迅速插入开口金属环或从环中抽出时，开口金属环不动。

这是因为由于磁铁的插入，闭合金属环会产生感生电流。根据楞次定律，感生电流的磁场要阻碍金属环与磁铁的相对运动，磁铁的磁场随着磁铁运动。结果不是金属环制止磁铁运动，而是产生感生电流的金属环在磁场作用下运动，开口的金属环不会产生感生电流，所以它不会与磁铁的磁场发生相互作用而运动。

【制作方法】

材料：废易拉罐一个、硬纸薄板或塑料薄板 $2.5\times18cm^2$ 长条一块、空酒瓶一个、小针一根、粘胶等。

从易拉罐上剪下 2.5cm 宽的圆环两只，分别粘牢在硬纸薄板的两端，其中一个圆环剪开口，将小针尖端向上，用橡皮泥固定在空酒瓶口上。找出硬纸薄板的重心，让针尖顶着该重心处使硬纸薄板平衡。

【实验方法】

参看实验原理部分。

注意：作为横梁的硬纸板越硬越好，不能用针尖在纸板上钻个小孔，把针尖顶在小孔上，这样会影响该实验装置的灵敏度。另外，条形磁铁磁性不能太弱，磁力大为减弱的磁铁应充磁。

四、旋转的磁场产生感生电流

【实验原理】

如图 7-36 所示，当悬挂的蹄形磁铁绕悬线轴旋转时，两极间的磁场方向也在旋转，在蹄形磁铁两蹄之间就存在着旋转的磁场。如果在两蹄之间放入一个筒状金属框，由于金属框处于旋转磁场内，金属框中的磁场发生变化，金属框上将产生感生电流。反过来，旋转的磁场又对感生电流发生作用。金属框也在磁场作用下旋转起来。

如果在金属框上开许多小口，使金属框不能在旋转磁场内产生感生电流，也就不存在磁场对电流的作用，开口的金属框不会旋转起来。

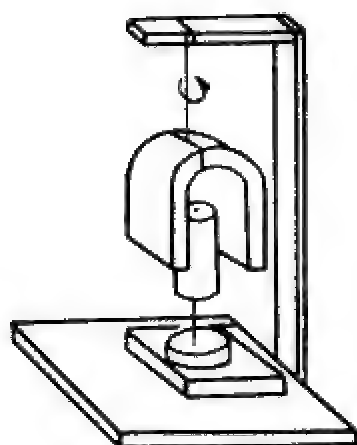


图 7-36



图 7-37

【制作方法】

材料:废日光灯起辉器铝皮外壳两只、蹄形磁铁一块、粗铜丝一根、橡皮塞一个、10cm×10cm 木板一块、高 30cm 木头支柱一根、细线、羊眼一个、铁钉若干。

把两只废起辉器铝外壳面心由内向外各铳一个小凹坑。如图 7-37 所示。把其中一个沿竖直方向剪开许多条状口子,从最下边一直剪到上端平面。

剪一根 8cm 长的粗铜丝,一端磨尖,一端插入橡皮塞内。尖端顶在铝壳凹坑中,做成铝壳旋转支架。

把木板钉成图 7-36 所示支架,上面固定一个羊眼,羊眼里系上细线,细线下端悬挂蹄形磁铁。注意细线一定要栓正,以防磁铁旋转时向两边播摆。

【实验方法】

1. 把蹄形磁铁向一个方向旋转,扭紧细线后,使磁铁竖直吊着,用手托住磁铁使其不旋转。

2. 未开口的铝壳放在铜针上。慢慢移入蹄形磁铁的两蹄之间。

3. 松开磁铁,磁铁在细线张力下绕竖直轴旋转,稍过一会儿,未开口的铝壳也会慢慢沿磁铁旋转方向旋转起来,并且越来越快。当磁铁在细线张力下沿相反方向转动时,铝壳也会沿相反方向旋转。

4. 如果把未开口的铝壳取下，换上开了口的磁铁，无论磁铁向哪个方向旋转，开了口的铝壳都不会旋转。

可在未开口的铝壳上贴一些彩纸，使壳的旋转显而易见。

五、电磁波的发射与接收

【实验原理】

1888 年，德国青年科学家赫兹(Hezi)在实验室里，用两条光滑的铜杆，各自系在两片锌板上，同时又把铜球杆接触感应线圈的两端。当锌片通电时，两个铜球自然接近起来，并且冒出了微弱的小火花。这就是有关电磁波发射与接收的实验。

如图 7-38 所示，把两个粗铁丝一端各装一个球形导体，构成火花间隙，并用感应圈供电，组成开放振荡电路，用来发射电磁波。铁丝相当于发射天线。它的工作过程是，当感应圈工作时，两球形电极间电压很大，因而击穿空气发生火花放电。每跳过一次火花，两条线形导体就往复充、放电许多次，电路就形成一周期极小、频率很高的阻尼振荡，并向周围发射出电磁波。由于振荡器的固有频率比感应圈所发出脉冲电压的频率高得多，在相邻两脉冲之间振荡就衰减掉，因此振荡器振荡是被感应圈激起的阻尼振荡。如果火花连续地跳过，那么就会不断地产生阻尼电磁振荡。

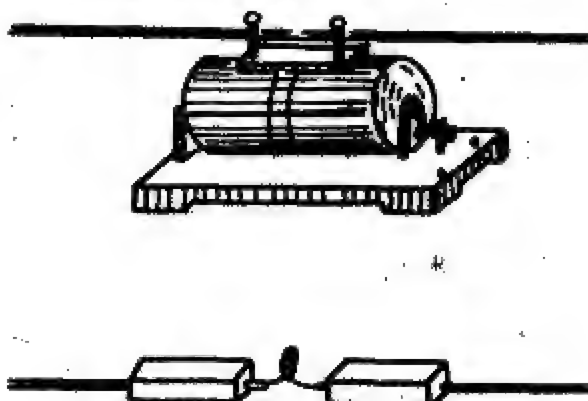


图 7-38

接收电路，也是用粗铁丝做接收天线，它的长度与发射天线的长度相同。由于接收电磁振荡感应的电压很高但功率不大，故采用高电阻而电流小就能发光的氖泡来显示所接收电磁波的能量。

【制作方法】

材料:四根长1m的粗铁丝、两个小金属球、两小块泡沫塑料、一个废日光灯起辉器氖泡、导线两根。

先将两金属小球焊接在两根粗铁丝两端,然后插入感应圈上的两极的孔中,两球相距约1cm时固定。把起辉器外壳去掉,用剪刀剪去起动线圈或起动电容,仅留下氖泡。

剩下两根铁丝各穿入一根泡沫中心,将两铁丝端用导线与氖泡相接。

【实验步骤】

1. 给感应圈接上电源,打开开关,调节升压旋钮,使两球间刚好产生火花放电。

2. 两手持接收天线上的泡沫塑料,使振荡器与接收器的天线平行,当二者相距2m左右时,可以观察到氖泡发光。说明接收器已接收到发射的电磁波能量。

3. 逐渐远移接收器,氖泡发光越来越暗;逐渐近移接收器,氖泡发光越来越亮。这说明接收电磁波的能量与发射点和接收点之间的距离有关。

4. 转动接收器改变接收天线的方向,使得接收天线不再平行于发射天线,氖泡的发光强度也明显减弱;当接收天线与发射天线垂直时,氖泡熄灭。不转动接收器,改变发射天线的方向,也可以看到同样现象。这说明了接收电磁波的方向性。

(胡耀合提供)

§7.6 光学实验教具制作

一、光导纤维

【实验原理】

光导纤维对光的传导作用,是全反射现象一个非常重要的应

用。

由折射定律知道，当光线从光密媒质进入光疏媒质时，折射角会大于入射角。但当折射角大于 90°时，折射光线会完全消失，只剩下反射回光密媒质的光线。我们可以用光密媒质做成导光管，使光线在光密媒质中多次发生全反射，沿导光管向前传播。

【制作方法】

方法一

材料：废易拉罐一个、青霉素药瓶一只、“2.2V，0.25A”灯泡一只、导线若干。

将青霉素药瓶的铝壳去掉。取下橡皮盖，用针钻两个小孔，然后把有绝缘皮的导线插两根穿过小孔后焊接上小灯泡。焊接的小灯泡放入透明瓶内，橡皮盖依然盖好(要切保浸入水中后不漏水)。

在易拉罐下端开一直径约 3mm 的小口，水柱导光实验装置就完成了。

实验步骤如下：

1. 将两根导线接在 1.5V 的电池上，再把盖好的药瓶放入易拉罐中。

2. 把易拉罐中装满水，让水从孔中流出，形成一条弯曲的水柱，伸出手放在水柱经过的途中，可以清晰地看到手心明亮的光斑。如图 7-39 所示。

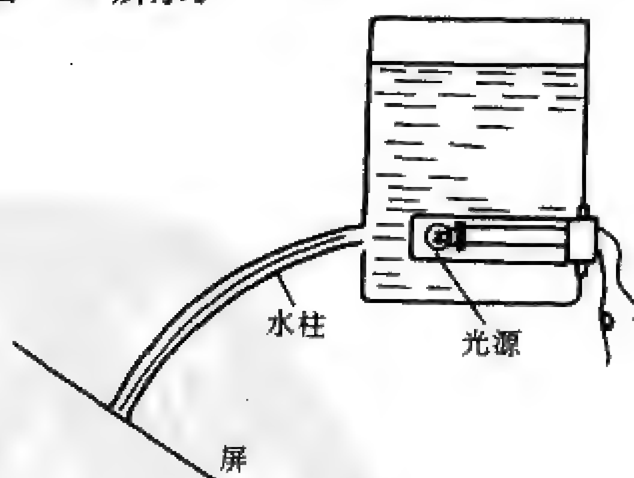


图 7-39

这个实验是物理学史中发现全反射现象的模拟实验。

方法二

材料：空麦乳精铁罐一个、20cm 长的实心玻璃棒一根、“220V，15W”灯泡一只、灯头一只、导线、插头、黑色绝缘胶布若干。

先将玻璃棒放在酒精灯上加热，加热 1 分钟后将其弯曲成“S”状。在麦乳精铁罐下端开一小孔，小孔直径略大于玻璃的直径。将玻璃棒外边用黑胶布缠绕(使其在导光时不透光)，再把玻璃棒插入麦乳精铁罐的小孔中，插入罐内玻璃棒不要用黑胶布缠绕，以便于接受光照。灯头用导线与插头连接，上好灯泡。

实验时，把插头插入 220V 电源插座上，灯头放入麦乳精罐内，盖好罐盖。此时通过玻璃棒观察，可以看见明亮的光斑，这正是光线经过“S”形玻璃棒传导出来的。

如果把灯泡换成有颜色的灯泡，看见的光斑也有相同颜色。

二、光的折射

【实验原理】

当光从一种媒质进入到另一种媒质时会改变方向，这种现象就是光的折射。

装置如图 3-15 所示，用一个透明玻璃瓶装上半瓶水，再在瓶上贴一张黑纸。黑纸从上到下开一条直径，当光线透过狭缝射入瓶中时，站在纸的背面看瓶子，会看见水上的光线与水下的光线相互错开，再不是一条直线了。

这是因为光线通过瓶中的空气是直线传播，光线通过水中传播时，已发生了折射，所以一条直狭缝透过的光，会产生这样两条错开的光线。

【制作方法】

材料：透明酒瓶一个、黑纸一张、糊精等。

制作方法参看 § 3.2(参考资料)。

三、自制X光机

【实验原理】

1895年，德国物理学家伦琴，发现了比紫外线波长还短的X射线，它的穿透本领很大，能使包在黑纸里的照相纸感光。后来把这种射线叫做伦琴射线，以纪念这位科学家。

如图7-40所示，灯泡外用金属箔片作为对阴极，灯丝作为阴极。当两极接上高压时，灯丝发出的电子在电场力作用下以很大速度射到对阴极上，从那里激发出相当强的伦琴射线。激发出的伦琴射线在传播时，穿透黑色包装纸，使胶片感光。

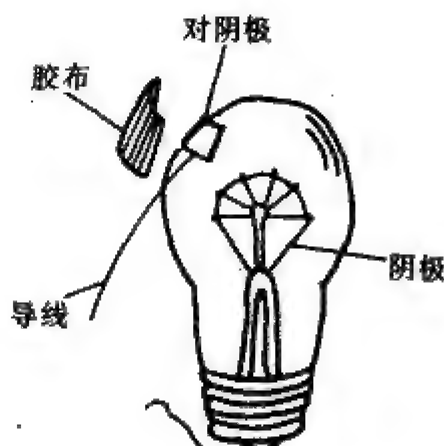


图7-40

【制作方法】

材料："220V，15W"灯泡一只、灯头座一只、12×15cm² 木板两块、香烟铝箔纸一小张、黑纸、感光胶片、"*F*"形铁皮一块、导线等。

在木板上安装灯座，灯座上两个接头接在一起，然后引出准备接感应圈的高压。剪一块15mm×15mm的铝箔、箔面向着灯丝，压住一根导线在灯泡的外壁上，用胶布粘贴牢固。

用黑纸做成一个纸袋，里面要能放一张相纸，并且不透光。纸袋外粘一块"*F*"形铁皮，作为待摄的物体，再把纸袋粘贴在竖直木板的上方。

【实验方法】

1. 在暗室里把相纸装入黑纸袋内，封好，再拿出暗室。
2. 调节高压感应圈放电火花间隙，一般调至8cm为宜。
3. 把灯泡引出的两根导线（一根在灯泡外壁上）接到感应圈两

根放电杆上，再接通电源，使感应圈工作。感应圈工作电压逐渐调高，观察灯泡内是否出现淡紫色的荧光。若有荧光，则说明两极与高压感应圈接线正确，若无荧光，则说明极性接反，应该把感应圈反向开关拨到另一位置，改变电源极性再做。

4. 当发现灯泡内有淡紫色荧光时，表明对阴极已发射出 X 射线。经短时间照射后，停止感应圈工作，取下黑纸袋，在暗室里把相纸取出来用 D-11 显影液，再用 F-5 定影液定影，水洗后干燥，就可以得到一张待摄物的“X 光片”。

第八章　趣味物理实验教具制作

本章从多年教学活动中选编了一些带有趣味性的教具制作，这一部分教具既可以在初中教学中使用，也可以在高中教学中使用，主要用来引起同学们学习物理的兴趣，激发同学们的创造能力。分成力、热、电、光、能量五个部分。

§8.1　力学趣味实验教具

一、小熊猫踩滚筒

如图 8-1 中的小熊猫两只前爪抓住横杠，两只后爪在不停地踩着滚筒，多神气！无论滚筒滚得快还是滚得慢，无论是上坡还是下坡，虽然它前俯后仰，却怎么也没有倒下，仍在不停地踩着滚筒。

打开滚筒一看，原来奥妙在这里！

滚筒的轴如图 8-2 所示。在支点下轴向下弯折，并在下端横轴上固定着一根粗铁。从支点 OO' 来看，由于支点下方的扭转力矩远大于 OO' 轴上方的横杠产生的扭转力矩，使得除了滚筒之外的整个框架重心始终在支点运动的平面以下，从而保证了小熊猫在滚筒滚动时不会倒。

【制作方法】

材料：麦乳精空罐头一个、同样大小的酱菜瓶盖两个、2 号铁丝 0.5m 长一根、10cm 长粗钢筋一根、纸剪的小熊猫一个。

将两瓶盖中心各钻一个小孔。去掉麦乳精罐头盒上部与下底，留下中间薄铁皮。剪开薄铁皮，使其可以卷成任意大小的圆筒。



图 8-1

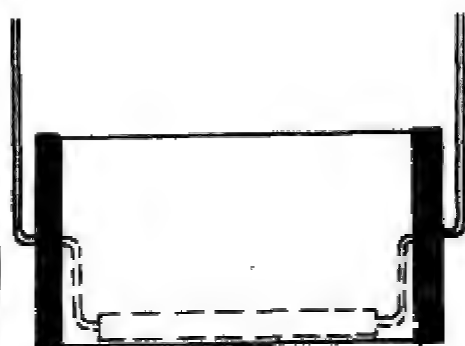


图 8-2

将铁丝穿过小孔弯成图 8-2 所示形状，注意接头处在两瓶盖内侧并绑上粗钢筋条。麦乳精罐头薄铁皮以两盖为底，正好撑开两盖成为圆筒。

在硬纸盒上画一个小熊猫，小熊猫的两前爪向上举起，两只后爪向下蹬直。剪下小熊猫，在向上举起的爪心钻两个小洞，用细线定在横杠上。熊猫的两只后爪要刚好接触滚筒，太长太短都不行。

用力推一下做好的滚筒。滚筒在向前滚动，小熊猫始终踩着滚筒——就像马戏团的明星！

（由张茂祥提供）

二、走钢丝的小人

你见过“走钢丝”的杂技表演吗？不妨自己动手做一个。

图 8-3 是一个走钢丝的小人，他手中握持“长竹竿”，脚下蹬有一辆“独轮车”，“长竹竿”两端配有重物 A、B。A 在小人的左边，B 在小人的右边。当小人在钢丝上平衡时，配重 A、B 对于支撑点 O 的力矩大小相同、方向相反，恰好使小人处于平衡状态。

当小人偏向右侧时，小人及其手中握持的“竹竿”会如图 8-4

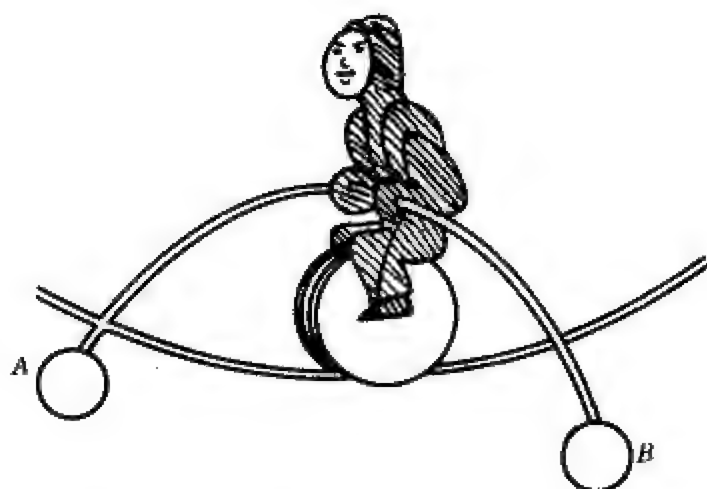


图 8-3

虚线所示发生倾斜，此时 B 端 O 扭转力矩变小，A 端扭转力矩变大，使得“竹竿”向左还原，小人重新回到平衡位置。

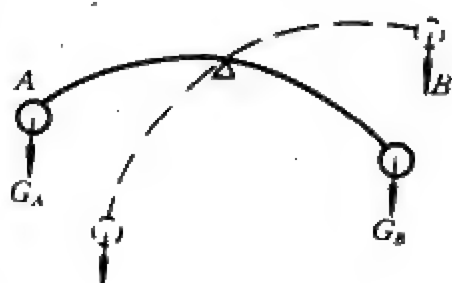


图 8-4

同样道理，当小人偏向左侧时，也会回到平衡位置。

在小人脚下装一个滑轮，犹如杂技演员骑在独轮上一样，可以在钢丝上滚过来滚过去，即使小人左右摇晃，但“杂技演员”是很少“失手的”。

【制作方法】

材料：一小块三合板、定滑轮一只、4 号铁丝一根、长 36cm、橡皮泥若干（粘泥巴也行）、单芯铝线（有绝缘外皮的）(2～3)m、粘胶。

在三合板上锯下一个小人，小人的两腿粘在定滑轮的轴架上，滑轮依然可以灵活旋转。按照图 8-3 所示在两“手”中开一小孔，刚好能穿过 4 号铁丝，铁丝与“手”应该用粘胶固定起来。将铁丝弯曲成弧形，两端各用一块橡皮泥捏成球状作为配重物。

把铝线拉直作为“钢丝”。将小人放在平直的铝线上，调整铁丝的弯度与两边配重的大小，使整个物体重心与滑轮的滑动槽在铝线上的接触点处于同一竖直线上，保证小人的平衡。

手持铝线一端，使铝线略微倾斜，小人不断从高端缓慢滑下低端，就像杂技演员在钢丝上来回走动一样。

三、水中开花

找一个盐水瓶、一次性输液塑料软管一截、气球一个。

在瓶子的胶塞并排开两个小孔，将两根软管插入胶塞中，瓶内部分均留 4cm 长，用粘胶把软管与胶塞之间固定密封使之不漏气。在其中一根软管口端系一个气球。

将瓶中装满水，胶塞盖在瓶上，把它倒置悬挂起来，随着一根软管向外流水，瓶内的气球也越来越大，仿佛瓶中有一朵花正在水里开放一样。

如果把气球的进气口封住(用封口夹)，水不会向下流了，气球也不再变大。

原来气球皮囊内外压强不一样。皮囊内与大气相通时是大气压强，而皮囊外水的压强比大气压强要小，所以球越胀越大。封住了进气口，气球皮囊内的压强与皮囊外水的压强相同时，水不再向外流，气球也不再胀大了。

四、不用吹的气球

通常气球都是靠吹大的。但是不用吹，也可以使气球鼓起来。

找一个装过酱菜的杯子，杯盖要能较好的密封。另外找两支废圆珠笔杆、一个气球、一段一次性输液软管和一只 50ml 的注射器。

在杯盖中心钻一个孔，旁边另外再钻一个孔。把两支空圆珠笔杆插进去，用粘胶将其粘牢在杯盖上。瓶盖中心插进去的圆珠笔杆用细线系上气球，输液软管套在瓶外的另一支圆珠笔杆上，用细线

系上气球输液软管套在瓶盖外的另一支圆珠笔杆上，大注射器直接通过输液软管与瓶内相通。

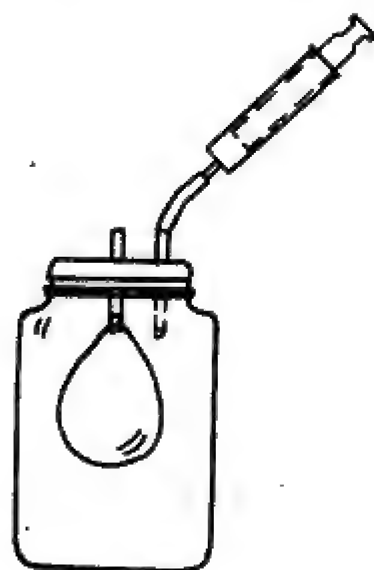


图 8-5

按图 8-5 那样，先把瓶盖盖严，然后用注射器抽气。随着瓶内空气被抽出来，瓶内的气球也鼓起来了。如果瓶子太大，可以多抽几次，只是注意每次卡住软管取下注射器排出注射筒内的气体，再把软管套在注射筒头上后放开被卡住的软管。

这个实验的道理比较简单，当瓶内气体被抽出一部分后，瓶内的气体（指气球皮囊外的部分）压强小于大气压强，是大气压强把气球给鼓起来了。

五、不用扎口的气球

和前面那个实验原理一样，只是换了一种方法。

找一只高橙饮料瓶、一个大气球、一支废圆珠笔塑料杆、一小段一次性输液软管和一只封口夹。

在高橙瓶下部开一个小孔，将圆珠笔杆插进去，并用粘胶粘牢在瓶壁上。把软管套在瓶壁外的塑料笔杆上，封口夹附在软管上。最后把大球反绷在瓶口上（封住了瓶内的气球使其不能泄漏）。

如图 8-6 所示打开封口夹，用劲把气球吹鼓起来，同时排出了瓶内的空气，立即关闭封口夹——放心，鼓起来的气球不用扎口也不会瘪下来了！

六、“神”罐

为了使你的晚会更欢快，你可以做个“神”罐来说明一个物理现象。



图 8-6

演示时，你拿来一个空麦乳精罐头圆铁盒，铁盒盖上有一小孔，铁盒下部也有一个孔，有一根橡皮管从里面伸了出来。

然后，你拿来一小杯水，将水倒入罐头盒上的小孔内。立即，橡皮管将有水流出来，你就用小杯接水。奇怪，小杯装满水后，水还在不断地流，一杯、两杯甚至三杯！——难道这个罐是只神罐，能将一小杯水变成好几杯水吗？

打开盒盖，秘密就在盒内。

如图 8-7 所示，盒内有一根较长的橡皮管，在盒内弯曲成“*S*”形。当盒内装有水时，只要水面不超过橡皮管弯曲的最高点，水不会流出来。但是当水一漫过橡皮管弯曲部分的最高点时，就会产生虹吸现象，盒内的水一直流至内管口的水平面，才会停止。如果你把橡皮管留得足够长，管口靠近盒的底部，一罐水要全部流光为止。

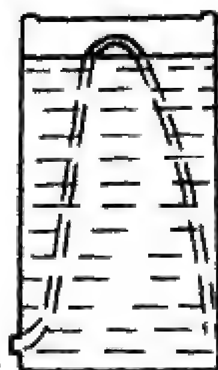


图 8-7

七、纸圈提水

轻轻一撕就破的纸，却可以承受几十公斤乃至上百公斤的重物，你信吗？

找来一张未用过的白纸做成两个一样大，宽约 3cm 的纸圈(用胶水把接头处点牢，粘贴部分要比宽度略长一点)。

再找一只 20W 废旧日光灯管，一根圆铁棍或圆木，一根长约

0.5m 的尼龙线。按图 8-8 所示。先水平支撑好圆木，纸圈穿进圆木待用。提来大半桶水，尼龙线系住水桶提手后，套在日光灯管上，日光灯管再穿进纸圈里——注意，一定要轻轻放在纸圈上，使纸圈慢慢受力。

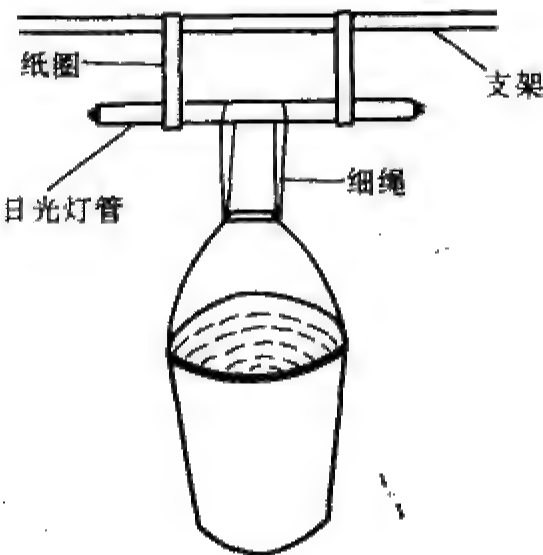


图 8-8

等水桶稳定后，再用杯子缓缓向里加水，一直把水桶加满。只要不晃动，你不必担心纸承受不起一桶水。如图 8-8 所示。

如果你有兴趣，还可以找个合适的位置以人来代替水。用手抓住日光灯管，另一个人首先抱住你，慢慢地松开，你会吃惊地看见两个纸圈竟然能够承受百十来斤重的人！

只是注意，不可扭动纸圈，否则会撕破纸。等你实验做完了，你可以把纸圈交给他人撕碎进行检验。

八、蜡烛动力船

在水塘的无风平静的水面上行驶着一只非常奇怪的"小船"，小船是易拉罐做成的，什么动力都没有，仅仅点燃着一支蜡烛，它却可以一直不停地向前开！

这只小船的动力是蜡烛燃烧产生的热气体。如图 8-9 所示，当蜡烛燃烧产生的热气体向上运动时，与船上倾斜向上成 45°的船体"帆"碰撞。这样，热空气向后运动，船体在此反作用下向前运动。

制作这种蜡烛动力船，需要废弃的易拉罐一个、30cm 长的蜡烛头一个、粘胶等。

制作时，用剪刀按图 8-10 所示尺寸制作船体。(a)是沿船头方

向看应剪成的正视图;(b)是从侧面看已将帆弯折 45°后的图。

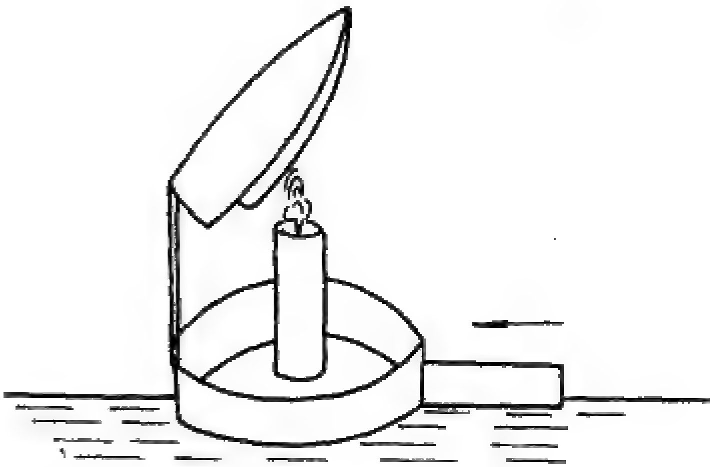


图 8-9

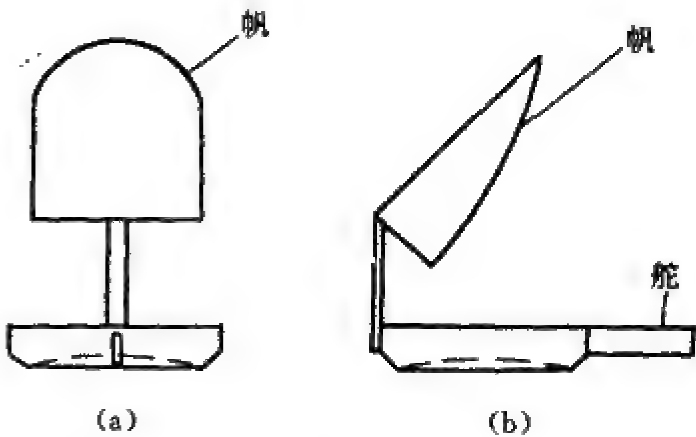


图 8-10

为了使小船能平稳向前行驶,还应该给小船安一个舵。用一块易拉罐废弃的材料剪成一块 4cm×1cm 的长条。对折面宽为 0.5cm 的双层后剪开 1cm 长的折线,将这一部分掰开,粘贴在小船尾部的船体上。

完工后的小船可以下水了。把蜡烛放在小船正中央,点亮蜡烛,小船就会缓缓离开“港口”,向彼岸前进。

九、喷气船

与火箭的原理一样，喷气船是根据反冲原理制成的。

参看图 8-11 所示，当小船上的气球通过喷嘴向后喷气时，反冲作用可以使小船向前行驶。

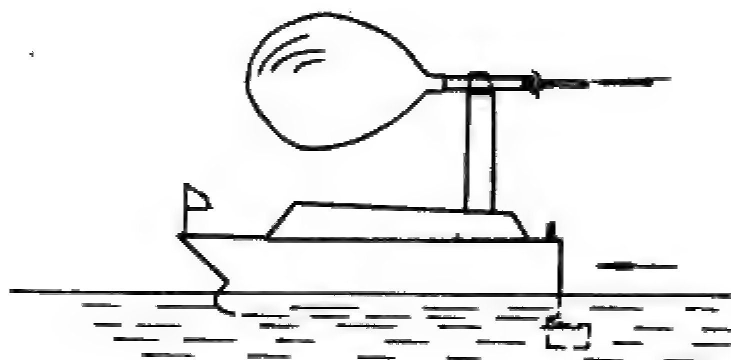


图 8-11

找一块 15cm×6cm，厚度为(3～4)cm 的泡沫做船体。用一根长 8cm，内径(2～3)mm 的玻璃管作为喷射口，将其用木块固定起来，木块插入泡沫中。用一根(5～8)cm 的细铁丝，作为舵轴，剪一小块易拉罐皮做一只小舵，固牢在舵轴上。

实验时，先把小船拿着，用口从喷气管口吹气球。把气球吹鼓起来之后，立即放入平静的水中，小船会一边向后喷气，一边向前走，直至气球的气放完为止。

为了使气球喷气时间长一点，可以将气球吹鼓足起来后，用手捏住气球颈口，加一支口径更小一点的圆珠笔的塑料笔杆(插入端削成锥形)，能使小船平稳缓慢地向前行驶。

十、向上滚的圆筒

由于重力的作用，放在斜坡上的圆形物体，会向下滚动。怎么有向上滚动的物体呢？看一看下面这个实验。如图 8-12 所示。

斜面上放有一个圆筒，放手后，滚筒不向下滚，却滚上了坡。这

是什么原因呢？

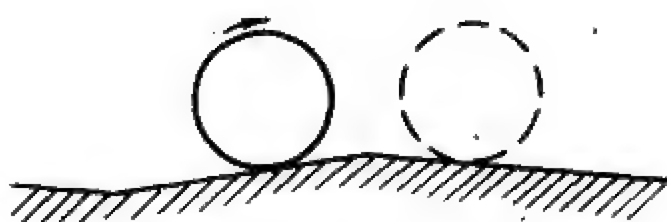


图 8-12

拿起滚筒来看一看，滚筒其它部分都没有什么特别，可是滚筒的边缘却缚着一根短粗的铁棒，它使得滚筒做了这个让人吃惊的运动。

参看图 8-13，由于整个滚筒较轻，滚筒上缚有粗铁棒之后，整个重心很接近开铁棒的几何中心。滚筒按图 8-13 所示放在斜坡上时，把滚筒与坡面接触处看成支点（瞬时支点），铁棒产生的力矩作用，会使滚筒向上滚动。

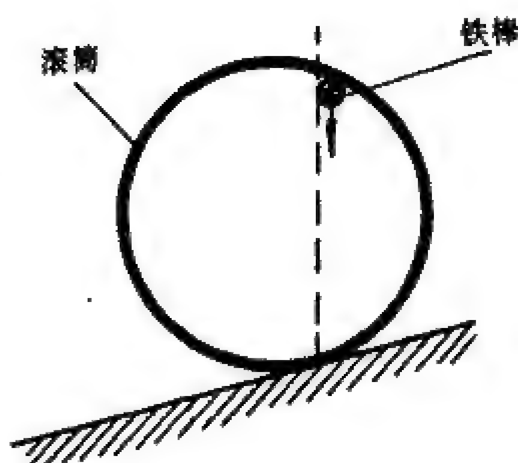


图 8-13

滚筒的制作方法如下。

找两根长约 0.5m 的 2 号铁丝、细铁丝若干、(3～5)cm 长粗钢筋一根、硬纸片一张。另外还要几块宽为 10cm 的木板来搭成斜坡。

先把铁丝弯成直径为 15cm 的两根圆圈，用几根细铁丝将两圆圈绑成宽度为 8cm 的滚筒骨架。要将钢筋头也横着缚在框架内侧。

剪一张长约 50cm，宽约 8cm 的长方形硬纸片围在滚筒框架轮子上，用透明胶布粘牢（接头处尽可能在钢筋对面）。再剪两张半径为 7.5cm 的不透光薄膜或纸片，用透明胶布贴在轮子两边，不让其他人一眼看出里面的“秘密”，等需要讲解时，揭开胶布取下薄膜即可。

十一、无动力的船

找一块生日蛋糕的塑料圈，按图 8-14 所示尺寸剪下，虚线处是内折线。按虚线内折后就形成了船形，再用透明胶布粘接起来，粘接好后，小船应该不漏水。

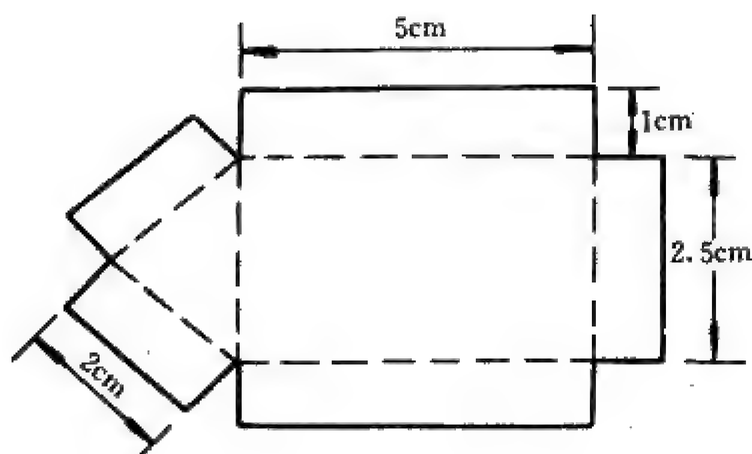


图 8-14

将一颗图钉由船尾内侧按下，使其锋尖向外。切一薄片肥皂，穿在锋尖上贴在船尾。

实验时，把小船放在平静的水塘里，小船将缓慢地不断前进，能走很远。

奥秘在于肥皂液的表面张力系数比水的表面张力系数小，因此，在肥皂液与水的接触边缘，受水的张力比受肥皂液的张力大，小船就会远离肥皂液而运动。由于船尾的肥皂液不断地溶于水中，小船也就不断地向前运动。

如果将小船放在洁净的装有水的水盆里，小船也会向前运动，但等到肥皂液溶化得较多时，小船就会逐渐停止运动。

§8.2 热学趣味实验教具

一、有趣的热现象

找来一段 2 号铁丝，按图 8-15 用钳子加工成一个圆形环、一个矩形框。圆形环的直径约为 4cm，矩形框的长度略小于 4cm，用圆形环去穿矩形框，刚好穿不过去。

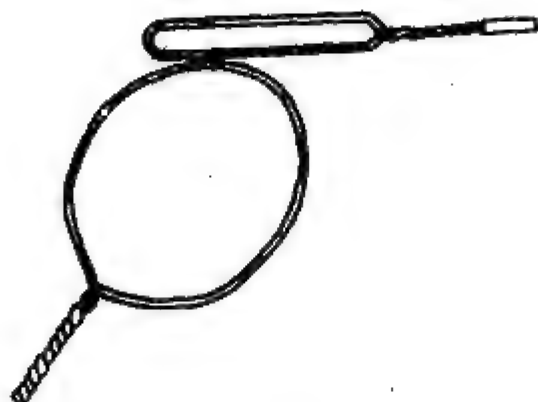


图 8-15

首先，当圆形穿不过矩形框时，把矩形框放在火上烧一烧，再用圆环穿矩形框，轻而易举就可以穿过去了。等矩形框冷却之后，圆环又穿不过了！

原来，固体有着热胀冷缩的性质，当矩形框受热之后，矩形框的长度与宽度均略微变大，穿不过去的圆环在矩形框受热之后就能穿过去了。

二、走马灯

自己做一个走马灯，逢年过节，只要点燃一支蜡烛，就可以看到活动的画面了。

如图 8-16 所示，走马灯的原理比较简单。在灯中心点燃一支蜡烛（也可以用灯泡），火焰周围的空气被加热。内筒的热空气上升，内筒外的冷空气进入筒内。上升的热空气在叶轮处给叶轮一个作用，使得叶轮带动内筒向某一方向转动。

制作方法如下：

材料：香烟的包装纸盒2个、硬纸板一块、直径6cm圆纸盒一块、45cm×20cm纸盒一块、竹竿一截、按扣一个、缝衣针一口。

参看图8-17中，按图上尺寸分别剪好：(1)外罩(两个香烟包装盒均如此加工)；(2)内筒；(3)叶轮；(4)底座支撑十字架。

内筒做成一个半径为6cm的圆筒，圆筒高20cm。叶轮按图中半径方向剪开。剪至画虚线处，然后向同一方向折叠一下。把按扣用细线缝在叶轮中心，按扣的凹面向外。最后把叶轮的每一块叶片用细丝固定在内筒上部，翘起的叶片向外。

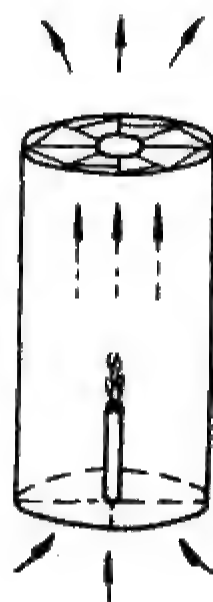


图8-16

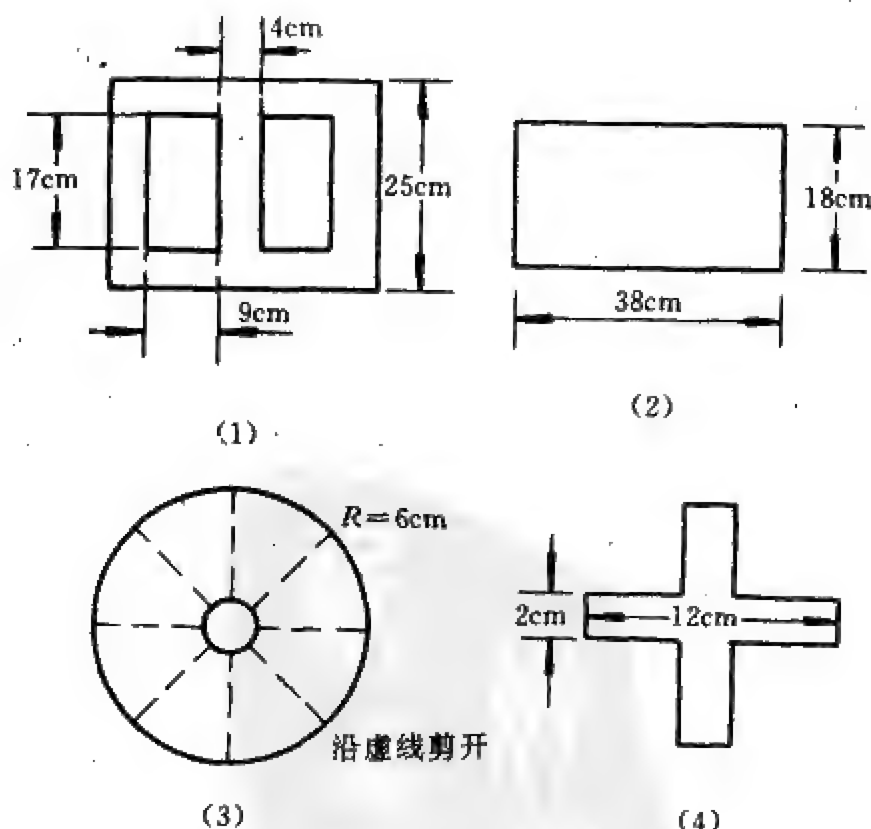


图8-17

把两个外罩用订书机按图 8-17 那样固定到一起，用底座十字支撑架撑开外罩。十字架中心插一支细竹竿，竹竿顶端固定一口针，针尖向上，作为顶在内筒按扣上的支撑物。十字架与外罩之间必须固牢。

为了内筒上有画面跑动，可以将小张彩色画张贴在内筒外表面上。

把各个部分组成图 8-17 那样，点燃一只蜡烛后放在十字架中心旁边，走马灯就可以转动起来了。

倘若要把走马灯悬挂起来，最好再做一个与底座十字架相同的十字架撑在外罩的上端并固定在外罩上。再在外罩上开四个小孔，用细线把走马灯悬挂起来。

三、瓶中喷泉

找一个有胶塞盐水瓶、一个敞口茶杯、一支圆珠笔。

先拔掉圆珠笔铜头，用大头针去掉小圆珠，用清洗剂清洗干净铜头与塑料杆内壁，然后将铜头依旧插在塑料笔杆上。取下盐水瓶的胶塞，用锥子在塞中心钻一个小孔，再把圆珠笔铜头向着瓶内插入塞中。注意小孔要小，当圆珠笔插入后会紧紧箍在笔杆周围而不漏气。

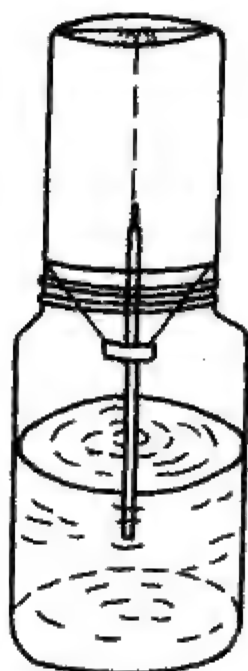


图 8-18

敞口杯中倒入半杯清水，在清水中加一滴红墨水摇匀待用。

把盐水瓶中倒入半瓶开水，摇一摇，使整个瓶子加热。倒出瓶中开水，迅速将胶塞盖紧，把盐水瓶竖直放在敞口杯上，塑料笔杆头没入红色水中。少许，一股红色的喷泉在瓶内由笔头喷射出来，直喷至最上端（瓶底），煞是好看！如图 8-18 所示，这个实验的原理是：当用开水倒入瓶口摇荡后，瓶子受热，使里面的空气受热。

受热的空气膨胀，密度减小，必有一部分跑出瓶外。用胶塞封住瓶口后，瓶内气体密度小，随着温度的降低压强减小。出现瓶内压强低，瓶外压强高的现象，当把塑料笔杆插入水中后，大气压强会把杯口的水压入瓶中，形成奇特的瓶中喷泉。

四、神秘的纸片

找一张薄纸剪成长方形，沿长度与宽度方向各对折一次，用一只缝衣针(或大头针)顶在对折线的交叉点上。把针竖直插在桌上，纸片略有微风就可以转动起来。

关好门窗，小纸片可能停止转动，这时，把你的手掌伸开，手心向着纸片放在桌上，奇怪，小纸片又慢慢转动起来了！可是当你把手拿开，小纸片又会停止转动。

还有更奇怪的：把针插在火柴盒上，纸片依旧顶在针上，再将火柴盒放在你的头顶上——小纸片又会由慢到快转动起来。

这个谜一般的旋转现象，在18世纪70年代，曾经使不少人认为人体有某种超自然的能力。但是事实上这个实验的原理很简单：手放在纸片附近时，下部的空气被你的手掌温暖了就向上升。上升的空气碰到纸片，纸片就会旋转起来。当小纸片处于头顶上时，头顶也有上升的温暖空气，所以纸片也会旋转。

只要人体的温度比周围空气温度略高一点，人体就会向周围散热。

五、热气球

找来两张拷贝纸、约1.5m长的竹篾、细铁丝1m、浆糊、棉花、酒精等。

先用细竹篾做一个直径25cm左右的圆圈，用细铁丝做一个直径5cm的小圆圈，然后用细铁丝做成一个十字架，将两个同心圆扎在一起，如图8-19(a)所示。

再把拷贝纸按图8-19(b)所示，阴影部分的四角去掉一个小正

方形，将边缝粘住，做成一个圆筒形。筒底边留16.7cm，均匀打折。打折后，安装圆圈，把圆圈放在筒内边缘，将纸筒边缘折进去用浆糊（或透明胶带）粘牢。这样，圆筒大，筒口略小的纸热气球就做成了。

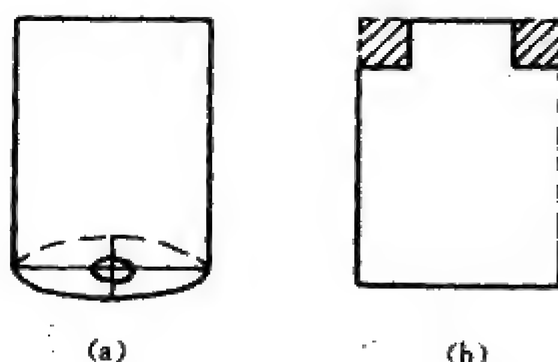


图 8-19

实验时，把热气球开口向下并水平端好。将浸过酒精的棉球放在圆圈十字架中处，点燃酒精，热气球内空气被逐渐加热膨胀起来，一会儿，热气球就会平稳地徐徐上升，直到室内的天花板上。等到酒精烧完，球内空气逐渐冷却之后，它又会缓慢地落下来。

如果在开阔的野外做这个实验，热气球一定会飞得很高很高……。

注意以下三点：

①酒精棉球不可太大也不可太小，太大了会将纸筒点着；太小了无法使热气球升起来。

②纸筒不可在点火时向内凹进去，以免酒精棉球的火焰烤着了纸筒。

③注意安全，以免引起火灾。

§8.3 电、电磁学趣味实验教具

一、电动快艇

找一块长 15cm、宽 7cm、厚 2.5cm 的泡沫制成船体。船上尾部挖一向下倾斜的凹槽，将一只玩具小电机放在里面。另取一支废圆珠笔芯塑料笔杆，截下 3cm 长的一段，将其作为传动轴。

找来一块 2cm 见方的易拉罐锌皮，用剪刀剪成三瓣梅花状，中部开一小孔。用手将其花瓣扭成电扇叶片似的螺旋状，然后把它套在塑料笔杆的尾部作为推进器。

在船的前部安放一只 1.5V 的五号电池，通过导线，将开关、电机组成一个串联回路。整个组装如图 8-20 所示。

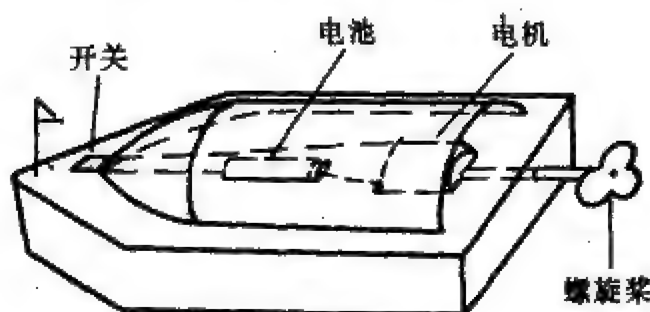


图 8-20

如果为了美观，还可以用矿泉水塑料瓶子做成一只罩子。

需要注意的是：传动轴倾斜度不要太大，否则"快艇"快不起来；但也不可太小甚至于平放，这样电机必须安装得很低，从船体传动轴开口处会渗水进船打湿电机。最好传动轴与水平面夹角 15 度以内为宜(要视组装后的船吃水有多深)。

找一块开阔的平静水面，启动开关后放入水中，快艇将飞快地破浪前进。

此实验还可以说明：电池的化学能转变成了电能，电能又转变成了动能。

二、跳舞的小人

先找好如下材料：空易拉罐一个、废 120 胶卷轴一个、0.55mm的漆包线若干、直径 12mm 短铁棍一根、按钮开关一个、细铁丝一根、硬纸板一块、回形针 8 个、细橡皮筋一根、粘胶、电源或电池。

先将废 120 胶卷轴用钢锉将轴滚两头卡轴处锉掉，将 12mm 短铁棍插进去作为铁芯，要刚好塞紧。然后在胶卷轴卷片处将直径 0.55mm 的漆包线绕上 600 匝，注意不能短路。

把废易拉罐开口端全部剪去，将绕好的电磁线圈用粘胶粘到凹形底部，再把易拉罐倒过来竖直放好，等粘胶干后再进行后面的制作。电磁线圈的引出线一定要注意绝缘，不能在出口处短路。



图 8-21

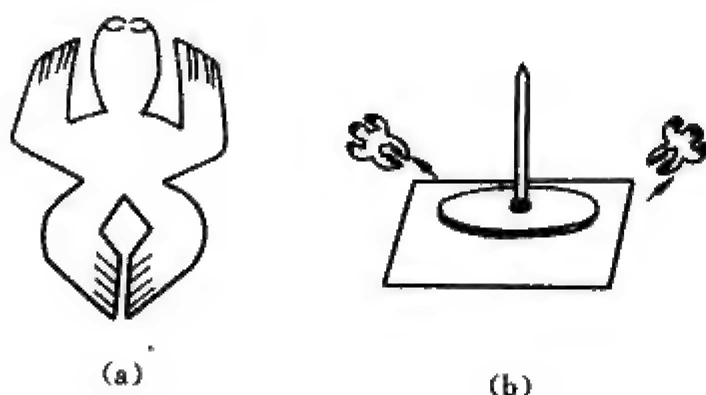
用硬薄纸板剪一个小人的头和上身。小人的手臂和双腿各用 2 根回形针代替，在小人的头上钻一个小孔，把一根橡皮筋穿过去。将铁丝固定在易拉罐上并向上伸出把小人用橡皮筋吊起来，小人的双脚要接近易拉罐凹形底部。

如图 8-21 所示，把按钮开关串联在电路中，用 1.5V～2V 电源（或电池）通电。接好电源后，按下开关，电磁铁通电，对铁的回形针产生吸引力，小人将会被拉着向下，突然松手后，按钮开关断电，小人会在弹力作用下上升，由于小人的手臂与双腿各由两根回形针做成，相当于较灵活的“关节”，因此，小人的手、脚会摆动起来。掌握好节奏，小人就如同跳舞一样。

三、会蹦的"青蛙"

一张旧塑料唱片、一块丝绸、一块铝片、一只塑料笔杆、一张香烟铝箔纸。

把塑料笔杆垂直插在铝片中心，用粘胶粘牢，做成起电盘。然后将香烟铝箔纸剪成如图 8-22(a)所示"青蛙"。



(a)　　　　(b)

图 8-22

实验时，先用丝绸在塑料唱片上来回擦几下，手持塑料笔杆末端将起电盘(铝片)放在塑料唱片上，"青蛙"铝箔向下放在铝片上，这时由于感应铝片上下表面会带上不同电荷，用手接触一下铝片的上表面使上表面电荷进入人体，拿起起电铝片时，铝片上已经带电，由于同种电荷相互排斥，"青蛙"上的电荷与铝片上的电荷作用结果，会使质量较小的"青蛙"蹦得很高。

四、奔马

找一块宽约 1cm，长约 25cm 的铁皮，如图 8-23(a)所示弯折，将端部剪成尖形，用锉把尖头打细、打尖。在铁皮重心处用铳打出一凹坑，作为旋转时的支撑点。

在硬纸板上剪一对奔跑的马(或其它有趣味的动物)，然后用透明胶带粘在铁皮两端。

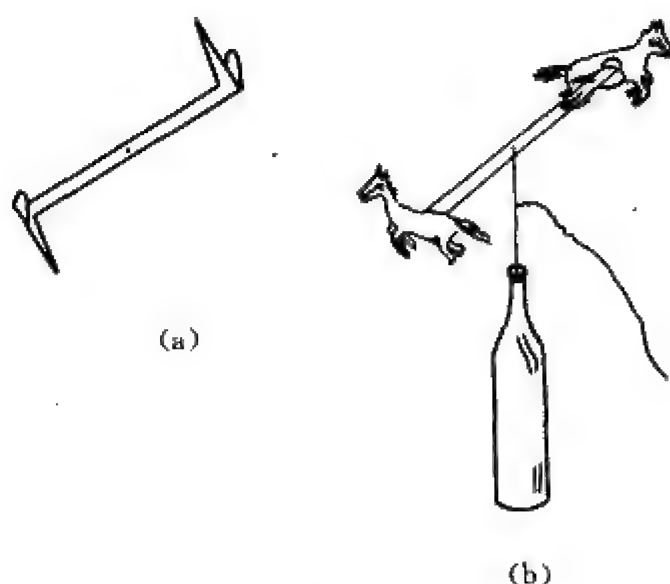


图 8-23

将一根铁丝一端打磨成锥状，竖在一个玻璃瓶里，用橡皮泥在瓶口将其固定，以免晃动。再把铁皮上的凹坑处顶在铁丝锥端，使其能自由旋转。

如图 8-23(b)所示，用导线把感应起电机的一个极与铁丝相连。手摇感应起电机，两个纸马就能够由慢到快转动起来。这是因为随着感应起电机的转动，大量电荷将聚集在铁皮上的尖端。当电荷足够多时，尖端对空气放电，同性的气体离子被尖端排斥迅速离开，形成“电风”，铁皮尖端在其反作用力的力矩作用下，就在水平面内连续转动——骏马飞奔起来了！

§8.4 光学趣味实验教具

一、电花

找一根长约 10cm、内径约 6mm 的橡皮管、另找一部分短尼龙

线。

将一颗小灯泡装入管端，小灯泡的发光朝向管内。小灯泡引出两根电线准备接电源。再将尼龙线剪成长约(12～20)cm 不等的许多截，一根根插入管内，在管口处捆紧并用胶布粘在橡皮管上。

接通电源，小灯泡发光，参差不齐的尼龙线端点点斑斑，犹如节日的礼花

这是利用光导纤维的原理制成的。

二、镜像

大家都知道，我们通常照镜子，在镜子里看到的像一般都是“反像”，即左边的眼睛眨动时，镜子里的“自己”是右边的眼睛眨动，如果我们要镜子里的像也是左边眼睛眨动，能行吗？回答是：可以。

找两块 5cm×10cm 的镜子玻璃、6cm×10cm 的薄木板一块、硬纸板若干。

先剪一块 11cm×10cm 的硬纸板，从中间折叠成两部分，每部分大约是 5cm×10cm。两部分硬纸板互相垂直，将两块镜子互相垂直紧贴着硬纸板内测，上面再剪一块等边直角三角形，相等的两边长 10cm，然后撑在两块镜子上方与互相垂直的硬纸板用透明胶布贴接在一起。硬纸板再贴接在小木板中央。

将这个自制的镜子放在桌上，再放一个物体在这个镜子前。例如放一块标有“*N*”、“*S*”极的磁铁在镜子前，你通过镜子看一看，你会发现镜子里看到的磁铁不再是“反像”。而是与实物一样。

不妨你再在这个镜子前(正对两块镜子的角平分线)眨动你的左眼，镜子里的“自己”也同样眨动着左眼！

三、变色陀螺

制作材料：陀螺一个，固定旋转螺钉一个、红、绿、蓝三种颜色的纸各一小张，塑料唱片一张。

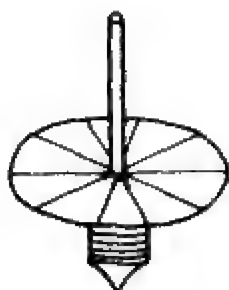


图 8-24

将旋转螺钉固定于陀螺上表面中心处，再把塑料唱片用聚酯胶固定于陀螺上表面，在红、绿、蓝纸上各画一个与唱片等半径的圆，折叠后剪成 15 度一张的小扇形纸条。按红、绿、蓝相间的颜色把纸条用胶水粘贴在唱片上，要刚好各种颜色粘 8 张后组成一个圆。如图 8-24 所示。

手持固定螺钉，将陀螺在水平桌面上旋转。当陀螺快速而稳定地旋转时，陀螺不再是红、绿、蓝三种颜色了，眼前是一片白色！

这是因为不透明的物体的颜色是由它反射的色光决定的，当红、绿、蓝三种颜色的纸反射不同的色光混合在一起进入人眼时，会显示出它们的复合色——白色。

§8.5　能量趣味实验教具

一、奇异的滚筒

如果有人告诉你，一个麦乳精铁罐头盒向前滚数米之后，又能自动滚回来，就像有人暗地里用什么东西拉着它一样，你肯定不信。但是我告诉你，只要经过小小的加工就可以了，你信吗？

找一只空麦乳精罐头盒、两根橡皮筋、一个废旧的重铁锁（或有孔的铁球之类的重物），还要一小段细铁丝、细线。

先在罐头盒的底部和上部接近筒壁处钻两个小孔。剪四根 5mm 长的细铁丝弯成“V”字形，“V”形铁丝线应比小孔大，怎么也不会穿过小孔，用它来作为细线打结处。

把两根橡皮筋不要剪开，用细线系住两端，沿对角方向将细线拴在“V”形铁丝上。注意拴第 1 根线比较容易，但拴第 2 根线时一定得把橡皮筋拉紧。由于拴第 2 根线时一边要拉紧橡皮筋，一边要

系线，最好此时借助于一根漆包线拉紧橡皮筋，等将线系牢后就解下漆包线。等两根橡皮筋交叉系牢后，再如图 8-25 所示，把重铁锁用细铁丝固定在两根橡皮筋的交叉处。

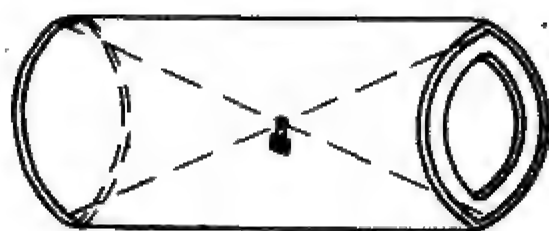


图 8-25

所有工作完成后，依旧盖好铁盒的盖子。

手持铁盒滚筒，使其在平面上滚动，在 3m 以内的距离内，滚筒一定可以滚回来。这是因为使滚筒滚出去时，滚筒滚动过程中，铁锁较重保持下垂，橡皮筋被不断拧紧，将滚筒的动能逐渐转变成为橡皮筋的弹性势能，此时滚筒动能逐渐减小，橡皮筋弹性势能逐渐变大。当滚筒动能为零时，橡皮筋弹性势能最大。然后，橡皮筋逐渐释放它的动能，使得滚筒向相反方向滚动，所以，滚筒就可以滚回它的出发点了。

二、弹力车

找一只废旧的扁形洗发精塑料瓶子、两根 15cm 长的 2 号铁丝、两只开水瓶木塞、两根橡皮筋、细线等。

先把洗发精瓶子洗干净，然后用小刀在洗 发精瓶壁某一面开一矩形口，再将瓶前后部两侧对称开两个孔径略大于铁丝直径的小孔。最后在盖子中心开一微孔。

车的轮子用开水瓶塞来做。两个瓶塞均从中间锯开共成四个轮子。这种轮子大小不一，一边高一边低，必须用刀修整一下，使其成为平整的轮子。最后把轮子中间各钻一个小孔。

现在可以安装轮子了。把两根平直的铁丝穿过小孔作为轴，各套上一个轮子(注意两个前轮一样大，两个后轮一样大)，再把铁丝

头弯成 90 度,敲入木头里,使其固定轮与轴同步转动,两个靠近瓶口的轮作为前轮,另两个轮子作为驱动轮。

轮子安装完毕之后,把两根橡皮筋相接,一端穿过盖子上的小孔利用细线系在一根火柴头上固定,然后拧上盖子,把橡皮筋另一端用细线系在驱动轮轴的中部。整个装置如图 8-26 所示。

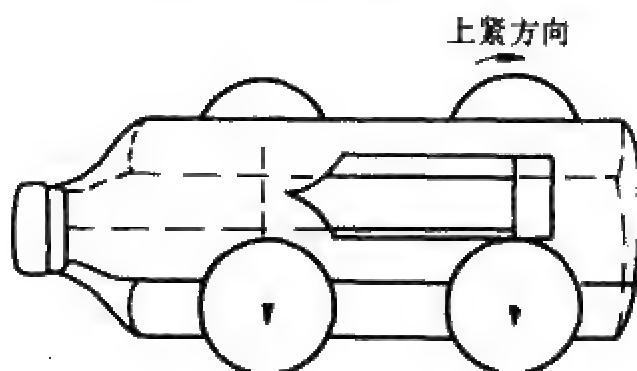


图 8-26

使用时,先用手将驱动轴向后转动,轮子一边向右转,橡皮筋也随着缠绕在轴上,橡皮筋越来越短,弹力越来越大。手捏住轮子使其不能回转,然后慢慢放在地上后松手,橡皮筋的弹力迅速释放,使小车飞快地冲出去。

第九章　历史上重要的物理实验简介

物理学从本质上讲是一门实验科学，物理学中每个概念的确立、原理和定律的发现，无不有坚实的实验基础。本章分为力学、热学、光学、电磁学和近代物理五个部分，每一部分以时间为序，简要介绍历史上重要的物理实验梗概。

§9.1　力学部分

一、阿基米德和浮力实验

阿基米德(Archimedes、公元前287年～公元前212年)是古希腊学者，他发现了杠杆定律和浮力定律，后者又称为阿基米德定律。据传说：希罗王命令工匠做了一顶纯金王冠，王冠做得非常精致，可是有人告发工匠在王冠中掺了白银而偷走了黄金，于是国王叫阿基米德想办法不损坏王冠而辨明真伪。

阿基米德苦思冥想如何解决这个问题。一天洗澡，他从盆中溢出的水和身体受到水的托力中得到启示，总结出大家熟知的阿基米德浮力定律。

二、伽利略和单摆实验

伽利略(Galileo Galilei 1564年～1642年)是意大利物理学家。1582年一个星期天，他来到比萨城内的大教堂里。这时，一位教士给教堂顶端悬挂的吊灯加油，教士走后，这盏吊灯仍在空中长时间地摆动。这个现象引起了伽利略的注意，他惊奇地发现：吊灯

摆动的幅度尽管越来越小，但每次摆动所花的时间似乎相等。于是他一面用右手按着左手的脉搏，一面注视着吊灯的摆动。测量结果表明，吊灯摆动的周期确实不变。

伽利略从教堂回到家里，用细绳悬挂起各种小球，分别以不同的摆幅，不同的球重，不同的绳长做了很多单摆实验，从中发现了摆的等时性，总结出单摆的周期与小球的重量无关、与摆幅无关，而仅只与摆长有关。到 1638 年，他又明确指出：摆的周期与摆长的平方根成正比。

在伽利略之后，荷兰科学家惠更斯在进一步研究的基础上，于 1656 年制成了世界上第一个用摆的振动来计时的钟表。

三、落体实验

古希腊自然哲学家亚里士多德认为：重的物体落地快，轻的物体落地慢。伽利略对这个论断提出怀疑。

据传 1590 年的某一天，比萨大学的伽利略教授和几位学生来到著名的比萨斜塔做落体实验，一个学生首先登上斜塔第二层，将两个分别为一磅和十磅的铅球同时由静止落下，瞬间，两个球同时落地。接着，伽利略分别让学生在塔的其它各层重复做这一实验，结果是：不同重量的铅球、木球等，只要从同一高度同时下落都几乎同时落地。

据史学家考证并无此事，以上仅是传说而已。早在 1587 年，荷兰学者史特芬就已用实验证实：从二楼窗户同时下落的两个轻重不同的铅球是同时到达地面的。

实际上，伽利略是通过思维的方法来解决这个问题的。他设想了一个理想实验，将一轻一重的两个物体捆在一起下落，那么，由于这捆东西比原来更重，当然应该比重物体先落地。但另一方面，轻物影响了重物，使它比原来下落得慢，这两个结果互相矛盾，由此推得亚里士多德的论断是错误的。

四、斜面实验

伽利略在他1638年发表的"两门新科学"中，详细描述了他做过的斜面实验，其主要内容是：

取一根长约12码、宽半码的木板，木板中间刻出宽一英寸的直槽，铺上光滑的羊皮纸。抬高木板的一端，使之比另一端高出一二码，然后取一个光滑的黄铜球，让其沿槽滚下，同时用水钟来测定球在斜面上滚下所用的时间。当时的水钟就是在一个装水的容器底部开一个小洞，焊上一根细管，在小球滚下的同时，让水顺着细管流到杯子里，用天平秤出小杯中水的质量，就可知小球运动时间的长短。伽利略不断地改变槽板的倾斜度和小球的质量，从100多次实验的结果中发现：铜球经过距离与时间的平方总是成正比，即$s \propto t^2$，这个关系就是匀加速直线运动的重要特征。

然后伽利略进一步作出推论，既然不论斜面的倾斜度如何，铜球都遵守时间平方关系，倾斜度越大，就越趋向于垂直下落，因此，自由落体运动也应是匀加速运动。

通过斜面实验，伽利略还推想出惯性定律。他曾在斜面末端接一个光滑的水平面，让小球自斜面滚下后继而在水平面上运动。实验表明，小球受的阻力越小，球在水平面上运动得越远。他根据这一发现作了一个合理的假设：倘若阻力完全不存在，小球将在水平面上永远运动下去。

五、托里拆利实验

亚里士多德认为，空间充满着介质，"自然界憎恶真空"，这成了17世纪以前人们用来解释水泵抽水的道理。1640年前后，有人告诉伽利略，说水泵从深井中抽水，最多不能高过10米，不知是什么原因。当时伽利略已年老体弱，双目失明，没有精力来寻找答案，便把这个问题交给自己的学生托里拆利来研究。

托里拆利(E. Torricelli，意大利1608～1647)认为，空气是有

重量的，有重量就会有压力，而这个压力有一定大小，所以迫使水所能达到的高度有一个限度。同时，它也可以使密度不同的其它液体上升到不同的高度。

为了证实自己的想法，他取来一根长 1.2m，一头封闭的玻璃管，灌满水银后，用手封住管口倒过来插进水银槽里。移开手后，水银柱立即下降到比槽中水银面高出 75cm 左右为止，并在管内留下一段真空。接着，他又用不同形状，不同粗细的玻璃管重复上述实验，结果所有管内水银面的高度相同，且与管内上部的真空高度无关。水银的密度是水的 13.6 倍，75cm 水银柱的压强正好与 10m 左右水柱的压强大小一致，这证实了他当初的预想。

法国物理学家帕斯卡为了检验托里拆利的说法，他想：如果空气的重量和压力是造成水银悬挂的唯一原因，那么在山顶上的水银柱应比山下的短。但由于他身残，便委托他内弟佩利尔在海拔 1600m 的多姆山顶重复了托里拆利实验，结果山上的水银柱比山下低 8.5cm。这个结论证实大气是有重量和压力的，彻底否定了“自然界憎恶真空”的论断。

六、马德堡半球实验

格里克(O. V. Guericke 1602～1686)是德国马德堡市市长。他为了证实大气压强的存在，请人精心制作了两个直径约 30 厘米的空心铜半球，在中间垫上橡皮圈后合在一起就成了一个不漏气的空心铜球。1654 年的一天，格里克带着铜球并邀请许多人来到市中心广场。

他先把两个半球合拢后灌满水，然后将水全部抽空，球内便成了真空。把抽气嘴封死后，再在每个半球的耳环上套上结实的带子，两边各拴几匹马，这两边的马在马夫驱赶下奋力向相反方向拉去，但几匹马的力量拉不开这两个铜半球。格里克命令再增加马匹，一直到两边各有 8 匹、两边共 16 匹马时，两个铜半球才被拉开。

这个实验使人们看到了空气压力的巨大威力，使托里拆利关于大气压强的理论得到科学界的普遍承认。

七、牛顿和万有引力定律

牛顿(I. Newton 英 1642～1727)被称为科学巨人。相传在他大学毕业后不久，一个熟透的苹果从树上掉下来，触发了他的灵感。是什么力量把万物吸引向地面呢？这个灵感促成牛顿最终发现了万有引力定律。那棵苹果树的树干至今还保存在美国博物馆里。

事实上，万有引力定律的发现是牛顿在前人探讨成就的基础上经过多年研究实践的结果。17 世纪初，开普勒发现行星运动定律的过程中，已清楚地意识到太阳有一种支配行星运动的力。哈雷近似地把行星绕太阳运行的轨道看成圆形，而由此根据开普勒第三定律证明了作用在行星上的力与它们到太阳距离的平方成反比。但是由于当时存在着许多难以克服的障碍，都没有把引力问题彻底解决。

牛顿是从 1665 年开始研究引力问题的。他设想：把万物吸引向地面的力、使月球绕地球运行的力、使行星绕太阳旋转的力都是同一种存在于物体之间的力，这种力的大小与物体之间距离的平方成反比。他首先以月球绕地球运行为对象，如果证实了地球对月球的吸引力确实就是月球运行所需的向心力，那么各种星球间相互吸引力的问题就可以成立，于是牛顿根据当时已知的有关数据进行计算。由于当时地球半径数据不准，计算结果显示：月球绕地球运转并不完全是由地球引力决定的，这就给万有引力的最初设想打上问号，迫使他中止了对引力问题的研究。

1672 年，地球半径被新的测量结果修正。牛顿得知消息后，重新根据新的数据进行计算，结果十分满意，使苹果落地和使月球绕地球运转是同一种力。接着，他又克服了一个个数学难题，证明了使行星绕太阳运行的力也是这种力。1685 年，牛顿在《自然哲学的

数学原理》一书中正式发表了万有引力定律。从他开始研究引力问题到正式发表成果历经了整整20年。

八、卡文迪许引力实验

卡文迪许(H. Cavendish 英 1731～1810)在1798年进行了两物体之间万有引力作用的实验室测定，首次在实验室里证实了万有引力定律，并根据实验数据计算出万有引力常数 $G=6.71\times10^{-11}\mathrm{N\cdot m^2/kg^2}$ 和地球的质量 $M_{地}=5.976\times10^{24}\mathrm{kg}$，这些数据同现代值相差无几。

早在1750年，卡文迪许从约翰·米歇尔研究磁力所采用方法中得到启示，他在一根细长杆的两端各安一个小铅球，做成一个哑铃状的东西，再用一根石英丝把这个“哑铃”从中间横吊起来，同时用两个大一些的铅球分别移近两个小铅球。根据万有引力，“哑铃”一定会在引力作用下发生移动，石英丝也会随着扭动。根据测出石英丝扭转的角度，就可算出引力。

可是石英丝的扭动太微弱了，不可能直接用眼观察出来。卡文迪许苦思冥想着一种可以把石英丝扭动放大的方法。几十年过去了，1798年，他终于发明了一种放大扭动的方法。他将一面小镜子固定在石英丝上，用一束光去照射它，光线被小镜子反射在一根刻度尺上，石英丝一点微小扭动，反射光在刻度尺上都会明显地表示出来。卡文迪许把这套被他称为“扭秤”的装置封在密闭的房间里，以免受到其它因素的干扰，他同时设计了一套装置，人无需进入密室内就可以移动大铅球。实验时，他用望远镜从室外来观察实验结果。

卡文迪许经过近50年锲而不舍的努力，终于获得成功。

§9.2 热学部分

一、测温史话

温度的测量是进行热现象研究的首要问题。1593 年，伽利略根据气体热胀冷缩的性质制造出世界上第一支温度计，它的构造是这样的：

用一根细长的玻璃管，它的一端是空心球形泡，另一端开口。事先往管内灌少许带色的水，然后把开口倒过来插在带色水的容器里。球形泡内空气热胀时，管内液面下降，空气冷缩时，管内液面上升，根据管内液面高低来指示测量的温度。这种温度计有一个明显的缺点是易受大气压变化的影响。

1654 年，斐迪南(Fevdinand 意大利)，在上述玻璃管的球形泡内装上酒精，加热酒精产生蒸气赶走管内剩余空气后将开口封闭，利用酒精热胀冷缩来指示测量的温度。这是世界上第一支不受大气压影响的液体温度计，它的理论测量范围在－114℃～78℃之间。

1659 年，布里奥(Boullian 法)制造出第一支水银温度计，它的理论测温范围在－39℃～357℃之间。

1724 年，华伦海特(Gobrirel Danile Fahrenheit 荷兰)建立华氏温标。这种温标当时有三个固定点：冰、水、氯化铵混合物的温度为 0 度，冰、水混合物的温度为 32 度，人口体温的温度为 98.6 度。

1742 年，摄耳修斯(Anders Celsins 瑞典)建立摄氏温标。他规定：在一个标准大气压下，冰、水共存的温度为 0 度，记为 0℃，水沸腾时的温度为 100 度，记为 100℃。并把 0℃ 到 100℃ 之间划分成 100 等份，每一等份为 1℃。

1848 年，开尔文(W. Thomson 英 1824～1907)创立绝对温

标。这种温标以理论极限最低温度为0K，水的三相点为273116K。

在此之后，人们又陆续发明了电阻温度计，热电偶温度计，辐射温度计等，将测温水平不断提高。

二、气体定律实验

人们在认识大气压以后，开始对气体进入更深刻的研究。1663年，玻意耳(Robert Boyle 英 1627～1691)把一根两臂不等长的U型玻璃管，将短臂上端封闭并附上标尺，然后把水银一点点地灌进管内，使水银在玻璃管两边等高时，记下刻度，再灌水银直至封闭一边的空气柱压缩到原来的一半。玻意耳测得此时长臂管内的水银比短臂中高出约75厘米，这表明：当外界压强增大一倍时，气体体积减小为原来的一半，即气体的压强与体积成反比。他接着又做了约四十次类似的实验，结果都表明上述结论是正确的。

1676年，马略特(E. Mariotte 法 1620～1684)也独立发现了这个规律。现在人们把等温条件下气体压强与体积成正比的关系称为玻意耳—马略特定律。

18世纪末，查理(J. A. C Charies 法 1746～1823)和盖、吕萨克(Gay-Lussac 法 1778～1850)在实验中发现气体体积或压强的改变与温度的改变成正比。这个结论在1802年发表，这就是查理定律和盖、吕萨克定律。之所以这两个气体定律要迟一百多年，这是因为温标和温度的测量方法都是在18世纪才逐步完善起来的。

三、瓦特和蒸气机

据传，瓦特(James Watt 英 1736～1819)小时候看见炉子上水壶里的水烧开后，蒸气把壶盖都掀动了。受到这件事的启发，他最后终于发明了蒸气机。

实际上人们从蒸气中获取能量的做法可以追寻到公元前一百多年。那时候，古埃及就出现了利用蒸气反冲作用而转动的蒸气球。在此之后的1000多年时间里，人们对蒸气的应用没有什么进

展。

17 世纪末，在工业发展的推动下，人们应用蒸气的研究取得进展。英国技师塞维利首先研制出蒸气泵。18 世纪初，英国的一位铁匠纽可门制成了最早的蒸气机。这种蒸气机有气缸和活塞，并利用了杠杆传动，但在工作时，需要人去不停地开关阀门。后来毕顿设计了一个连杆装置，使阀门可以自动关启，但这种蒸气机的热效率非常低。

从 1763 年，瓦特开始修理纽可门蒸气机，同时他就致力于研究怎样改进它。经过长期努力并积极吸取别人的研究成果，瓦特作了两项关键的改进：第一项是将冷凝器与气缸分离，这个做法大大提高了蒸气机的热效率。第二项是利用曲柄装置将往复的直线运动转变成回转运动。另外，他还设计了离心调速器，对蒸气机的运转实行自动调节。在 1734 年，瓦特终于制成了性能优良的蒸气机。

四、伦福德-戴维实验

热是什么？历史上相当长的一段时期内，人们认为热是一种没有重量的流体，在传递过程中保持守恒。这就是热质说，它能成功地解释许多热学实验。

首先根据实验事实对热质说提出异议的是伦福德(C. Rumford 即 B. Thomson 美 1753～1814)和戴维(H. Davy 英 1778～1829)。

1798 年，伦福德在炮筒的钻孔过程中发现有大量的热产生，热质说认为这是铁变成铁屑时放出的“潜热”。他发现锐利的钻头在钻孔时产生的铁屑多而热少，而钝钻头在钻孔时产生的铁屑少而热多，并且在摩擦过程中产生出来的热似乎是无穷无尽的，这是热质说不能解释的。并且根据热质说，铁在变成铁屑中放出了热，其比热应减小。伦德福做了一系列实验来测出它们的比热，发现铁和铁屑的比热没有什么不一样。由此他得出结论：热不可能是一种物质，只可能是一种运动。

1799年，戴维通过实验进一步证明了伦福德的观点。他利用一种钟表装置让两块冰在真空中相互摩擦，这时周围的温度在冰点以下，而冰被融化了。他由此得出结论：摩擦引起了物体中微粒的振动，这种振动就是热。

五、焦耳和热功当量的实验测定

焦耳(J. P. Joule 英 1818～1889)在1840年到1878年的30余年热功转换实验工作中，积累了大量精确的数据，测得了热功当量。这项成果彻底否定了热质说，为能量转换和守恒定律的建立奠定了坚实的基础。

1841年，焦耳测量电流通过电阻线发出的热量时，发现在一定时间内发出的热量与电路中的电阻成正比，与电路中电流的平方成正比，这就是焦耳定律。

1843年，焦耳利用重物下落时重力势能的减少而作出的机械功去开动发电机，发电机发出的电又去加热浸在水中的电阻线，电阻线发出的热来加热水使其温度升高。他根据13组实验数据取平均值，求得热功当量的值为每卡4.511焦耳。

1845年，焦耳测定了压缩空气向大气扩散时产生的冷却效应，和压缩空气将另一容器中的水排出时所作的功，由此求得热功当量的值为4.29焦耳/卡。

1849年，焦耳完成了测定热功当量最著名的实验：他在一个盛满水或水银的量热器中插一根轴，轴的下面装有叶片，轴的上端绕有细绳，细绳通过滑轮悬挂重物。让重物下落来带动叶片搅拌水，在叶片与水摩擦时产生热使水温升高。经过多次实验和精确测量，他得出热功当量的值为4.158焦耳/卡，这与现在所采用的4.186焦耳/卡相差无几。

六、布朗运动

1827年，布朗(R Brown 英 1773～1858)观察到浸在水中的

花粉微粒在明显地作无规则运动。这种运动永不停止，而且微粒愈小，温度愈高，这种运动愈剧烈。他经过反复实验观察，证实这种运动不是起因于液体的流动和蒸发。接着，他又采用各种不同物质的微粒来做实验，发现它们与花粉微粒没有什么不同。后来人们把这种运动称为布朗运动，但对布朗运动的机理在半个多世纪中几乎无人作出解释。直到 1876 年，达、拉塞姆提出花粉微粒的运动是液体分子撞击所致的假说，这一问题才得到较满意的解释。但这一假说正确与否，还有待人们进一步进行证实。

1905 年，爱因斯坦首先发表关于布朗运动的定量理论。从 1908 年到 1913 年，佩兰进行了一系列实验证实了爱因斯坦的理论。这样，关于布朗运动的分子理论得到全面证实。

现在人们都知道，液体分子时刻都在作无规则运动，这些分子撞击花粉微粒就引起了布朗运动。若微粒越大，各个方向撞击它的分子数目越多，其作用被相互抵消，微粒基本上不动。若微粒愈小，撞击不平衡的机会就愈多，微粒的运动就明显。温度愈高，分子无规则运动愈激烈，分子撞击微粒的力量愈强，布朗运动也就愈剧烈。布朗运动有效地证明了分子的客观存在和分子无规则热运动的存在。

七、向低温进军

地球上最冷的温度是北极记录的 185.8K(−87.4℃)，从 18 世纪末，人们开始向更低的温度进军。

1823 年，法拉弟(M. Faraclay 英 1791～1867)发现在低温下加压可使某些气体液化，再利用这些液体减压气化时吸热，可获得更低的温度。到 1835 年，物理学家们得到 163K 的低温。

从 1869 年安德鲁斯(T. Andrews 英 1813～1885)发现一切气体都存在一个临界温度(可使对应气体液化的最高温度)，到 1877 年，科学家采用多级串联的绝热膨胀，节流膨胀和抽取液面蒸气等致冷方法得到 77K 的低温。并且分别液化了氧、一氧化碳

和氮气。

1898 年，杜瓦(J. Dewar 英 1842～1923)采用上述方法得到 20K 的低温使氢液化。第二年他又得到 10K 的固态氢。他的成功还归于他自己发明的低温恒温器——杜瓦瓶。

1898 年，昂里斯(K. Onnes 荷兰 1853～1926)建立大规模的低温实验室。经过十年努力，他终于在 1908 年得到 4.2K 的低温使氦液化。到 1925 年他已得到 0.7K 的低温。

1957 年，人们用绝热去磁的方法得到 0.00002K 的超低温。近年来，在实验室里采用稀释致冷法已获得 5×10^{-8}K 的超低温。

§9.3 电磁学部分

一、起电机和莱顿瓶

17 世纪以前，摩擦起电是人们获得电的唯一方法。大约在 1660 年，马德堡市长格里克把硫磺敲成碎块放进一个直径约 25.4cm 的玻璃烧瓶里，加热使硫磺融化并不断加进硫磺直至充满整个烧瓶为止，然后向融熔的硫磺中间插一根木柄。硫磺冷却后，将烧瓶打破，就得到一个带柄的硫磺球。格里克把硫磺球放在木制的托架上，用一只手摇木柄使硫磺球旋转，另一只手按在球面上与之摩擦，于是硫磺球起了电。这样，格里克制成了世界上第一部摩擦起电机。

电是看不见摸不着的东西，怎样保存它呢？1745 年，荷兰莱顿大学的物理学家马森布罗克(P. V. Musschenbrock 荷兰 1692～1761)在寻找一种保存电的方法。有一天，他用两根丝线悬挂一根枪管，枪管与起电机连接，从枪管的另一端引出一根铜线，并将它浸入盛水的玻璃烧瓶中。他让助手用一只手拿着玻璃瓶，而他自己去摇起电机，当他的助手不小心将另一只手碰到枪管上时，猛然感

到一次强烈的电击。马森布罗克立即与助手互换位置重复刚才的实验，他自己也受到了强烈的电击。由此他知道，把带电体放在玻璃瓶内可以将电保存起来。后来人们把这种用来蓄电的瓶子叫做莱顿瓶。

不久后，马森布罗克将莱顿瓶的内、外壁都贴上金属箔，并在瓶盖上插上一根金属杆，杆的上端是一个金属球，下端与内壁连接起来。这样，莱顿瓶实际上是一个电容器，可以用来储存相当多的电荷。

二、富兰克林和风筝实验

富兰克林(B. Franklin 美 1706～1790)是第一个提出正电和负电概念的人，他把电想象成为一个个带电的粒子即电荷。

富兰克林在一次实验中将几只莱顿瓶连接起来，储存了较多的电荷。这时，他夫人不小心碰倒了莱顿瓶，突然闪过一团电火并伴随着一声轰响。这件事使他联想到空中的雷电，天上的雷电会不会是一次极大的放电呢？他决定做一个捕捉天空雷电的实验。

1752 年 7 月，在费城的一个雷雨天，富兰克林用绸子扎了一个大风筝。风筝顶上安了一根尖细的铁丝并把它与牵风筝的亚麻线连接在一起，麻线的末端拴了一把铜钥匙，钥匙连着莱顿瓶。他和他儿子把风筝放上天空，当风筝飘到带电的云中时，铁丝立即从云中取得了电，并沿着雨湿了的麻线传下来。富兰克林看到麻线上散开的纤维竖了起来，并能被手指吸引。当他用食指靠近铜钥匙时，一些电火花从他食指尖闪过，雷电终于被捕捉到了。他用这种方法使莱顿瓶充了电，经过实验检验，雷电与地面上的电荷是完全一样的。富兰克林及时地把雷电捕捉的发现推进到实用阶段，他利用尖端放电效应发明了避雷针。

值得指出的是富兰克林的这项实验是非常危险的。1753 年 7 月 26 日，俄国科学院院士里赫曼在重复上述实验时遭雷击身亡，成为探索电学知识的第一位献身者。

三、库文实验

1747 年，富兰克林在实验中发现，用丝线悬吊的小软木在带电金属球壳外会受到强烈的吸引，但在球壳内的任何地方，却都不受到电力的作用。

1767 年，普里斯特列(J. Priestley 美 1733～1804)重复富兰克林的实验，观察到同样的现象。他根据牛顿曾证明："在一个空心球壳内，作用于一个物体的净引力(万有引力)恰好等于零。"的结论，假定电荷之间的作用力也遵循平方反比关系。

1785 年，库仑(C. A. Coulomb 法 1736～1806)用电扭秤实验证实了普里斯特列的假定。

库仑早年就从事扭转的研究，曾发现力与扭转角成正比的规律。做的扭秤可以测定极小的力，精度达到 10^{-8}N。在测定电荷之间作用力关系的实验中，他在一个大玻璃容器里用一根细银丝将一根玻璃棒悬挂起来，棒的一端连着金属球 A，另一端有一个平衡物，在一根可以移动的玻璃棒上固定金属小球 B，整个装置保持良好的绝缘。然后将电荷给予两个小球，即可测出两小球在不同距离时，或带不同电荷时的相互作用力。

实验结果证实：两小球之间的相互作用力沿着它们之间的联线，与它们之间距离的平方确实成反比，并进一步证实作用力的大小还与两个小球所带的电量成正比。这个规律被称为库仑定律。

值得指出的是，卡文迪许在 1773 年就用实验确定了电荷之间相互作用的关系，可惜他没有公布这项发现，其成果是麦克斯韦在整理他的手稿时发现的。

四、从伽伐尼到伏打

伽伐尼(L. A. Galvani 意大利 1737～1798)是位解剖学家。1780 年的一天，他把一只剥了皮的蛙腿放在金属盘子里，他妻子过来拿小刀时，刀尖不小心碰在蛙腿上，蛙腿突然抽搐了一下。伽

伐尼得知此事后，自己重复了这个实验，也观察到了同样的结果。他记起曾做过用莱顿瓶给蛙腿瞬时通电的实验，其情况与刚才一样，那么这一项的电从何而来呢？

伽伐尼决心探索其原因，他以严谨的态度选择各种不同的条件、地点和时间重复这类实验。他发现：只要用两种不同的金属与蛙腿接触都会发生类似现象，他把这称为动物电。

1792 年～1796 年，伏打(C. A. Volta 意大利 1745～1827)在重复伽伐尼实验时发现：只要两种不同的金属中间隔以湿的硬纸，不管有无蛙腿，都会有电产生。这就否定了动物电的观念。根据各种金属接触的实验结果，他列出了锌—铅—锡—铁—铜—银—金这个著名的伏打序列。在伏打序列中任两种金属隔以湿的硬纸时，位于序列前面的金属带正电，后面的带负电。同时他还引进了接触电位差的概念。

1800 年，伏打用多层锌片与铜片夹以盐水浸湿的铁片迭成电堆用来产生电流，这个装置被称为伏打电堆。这项发明使人类第一次获得了持续电流，从而把电学研究从静电时代推向动电时代。

五、1820 年

1820 年 4 月的一天晚上，奥斯特(H. C. Oersted 丹麦 1777～1851)在一个自然科学讲座上讲述热和电的联系。课程快结束时，他做了一个电流热效应的演示实验，在让电流通过铂金丝时，奥斯特突然发现铂金丝旁的小磁针转动了方向，他马上意识到这是一个多么重复的发现。

从 4 月到 7 月，奥斯特做了 60 多次实验，他把小磁针放在通电导线旁的不同地方来研究它受到电流作用力的大小和方向，他在导线和磁针之间放置玻璃、木头等不同物质来研究不同介质对电流磁效应的影响。他的研究成果于 1826 年 7 月 21 日发表，从此过去被认为完全不同的两类现象电和磁联系起来了。

奥斯特的发现震动了整个科学界，安培(A. M. Ampere 法

1775～1836)重复和研究奥斯特的实验后，发现了磁针转动的方向与电流方向之间关系的右手螺旋法则。他在研究通电导线之间相互作用力的实验中发现了安培定律。安培还指出了磁的本质是分子电流的假说。

与此同时，毕奥(J. B. Biot 法 1774～1862)和萨伐尔(F. Savavt 法 1791～1841)通过实验得到了通电长直导线对磁极作用的规律。拉普拉斯(P. S. Laplace 法 1749～1827)用数学方法把实验结果提高到理论，这就是毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律，它给出了电流元所产生的磁场强度公式。

以上研究成果均产生于1820年。

六、欧姆实验

1826年，欧姆(G. S. Ohm 德 1787～1854)希望通过实验来寻找导体内的电流大小由哪些因素决定。他碰到的第一个问题就是使用的伏打电池输出不稳定。刚好在1821年，塞贝克(T. J. Seebeck、爱沙尼亚 1770～1831)发现了温差效应，根据这个原理制成的温差电池的电动势稳定而且可以调节，欧姆选择由铋铜组成的温差电池作为电源。

接下来的问题是电流的测量，当时还没有电流计。欧姆把电流的磁效应和库仑扭秤结合起来，设计了一种电流扭秤，扭秤的偏转角与电流产生的磁力成正比，而磁力又与电流强度成正比，因此可以用扭秤偏转角的大小来指示电流。

然后他把一根粗细均匀的铜导线截成长度不等的几段作为外电路。根据多次实验的结果，他得出了如下公式：

$$X = \frac{a}{b + x}$$

式中 X 是扭转角的大小即电流的大小，x 是导线的长度即为外电路的电阻R，对于同一电池 a 为常量，对于不同的电池 a 不相同，欧姆把它称为电源的激发力即电动势 ε，b 在各种电源不变的电路

中保持常数，欧姆认为它是电源相当导线的长度即内阻 r，于是上述结果就可写成：

$$I=\frac{\varepsilon}{r+R}。$$

这就是全电路欧姆定律，他的研究成果于 1827 年完成并发表。

七、法拉弟电磁感应实验

电能生磁，磁也一定能生电，很多科学家怀着坚定的信念从 1821 年起就投入到磁生电的研究之中。其中，法拉弟(M. Faraclay 英 1791～1867)以坚韧不拔的毅力，精心研究十年，终于在 1831 年发现了电磁感应现象。

1831 年 8 月 29 日，法拉弟在实验中用一个圆铁环，环上绕两个彼此绝缘的线圈 A 和 B，B 线圈的两端用一根铜导线连接形成闭合回路，铜导线下放置一个小磁针。A 线圈通过开关和电池组相连接形成闭合回路。法拉弟观察到，在 A 线圈闭合上开关的瞬间，小磁针发生偏转，断开的瞬间，小磁针也发生偏转。这说明在 A 线圈通断电流的瞬间，与之绝缘的 B 线圈中产生了电流，电磁感应现象终于被法拉弟发现了。

接着，法拉弟又做了几十个类似的实验。他把可以产生电磁感应现象的概括成五类：1. 变化的电流；2. 变化的磁场；3. 运动的电流；4. 运动的磁铁；5. 在磁场中运动的导体。回顾自己十年来走过的弯路，关键在于未领悟到“动磁”才能生电。

电磁感应现象的发现，把人类带入了电气时代的大门。

八、赫兹实验

1865 年，麦克斯韦(J. C. Maxwell 英 1831～1879)提出电磁场理论，在这个理论中，他预言了电磁波的存在，并预见到光也是一种电磁波。他的理论正确与否，需要通过实验来证明。

赫兹(H. R. Hertz 德 1857～1894)是电磁场理论的支持者，他

决心用实验来证明电磁波的存在。几经周折，在1887年，赫兹将末端固定有小金属球的两段黄铜杆共轴相对，接在感应圈的两个输出端上，两小球由空气间隙隔开。当感应圈输出的高压交流电使电荷交迭充入金属球时，就有电火花跳过空气间隙，两段黄铜折成了导电通路。由于电流是交变的，电流在其中往复振荡，整个装置是一个电磁振荡器，用来发射电磁波。

另外，赫兹用一根两端固定有金属小球的导线弯成环形，小球间也留有空气间隙，这就制成一个谐振器。调整它的方位和到振荡器之间的距离就可以与之发生谐振。赫兹在实验中发现，当发射器有电火花跳过空气间隙时，谐振器也有电火花跳过空气间隙，这个实验确凿地证明了电磁波的存在及电磁波在空间的传播。

1888年，赫兹用驻波法精确测量了电磁波的传播速度，肯定了电磁波的速率等于光速。接着，他从实验中证实了电磁波具有反射、折射、聚焦、衍射、干涉等光的特性，说明光确实也是一种电磁波。

§9.4 光学部分

一、光的色散实验

1666年，牛顿做了光的色散实验。他当时在暗室的窗子上开了一个小孔，让太阳光通过小孔进入室内，在光经过的地方放一棱镜，棱镜后面置一屏。结果屏上出现了彩色光谱，其中偏折最大的是紫光，偏折最小的是红光。

这个实验还不足以说明白光是由多种单色光复合而成，因为这可能是白光与棱镜相互作用的结果。为此，牛顿在屏上再开一小孔，小孔后面放第二块棱镜，棱镜后面置第二块屏。牛顿转动第一块棱镜，分别让不同颜色的单色光通过小孔经过第二块棱镜再照

在第二块屏上。结果，所有的单色光不能再被第二块棱镜分解或改变成其它颜色的单色光。

为了进一步说明白光是由多种单色光复合而成，牛顿将白光分解成各种单色光后，让它们再经过一个顶角较大的倒置棱镜，结果这些单色光在屏上重新复合成白光。

通过以上实验，牛顿证实了白光是由多种单色光复合而成。

二、牛顿环实验

1675年，牛顿做了牛顿环实验。实验经过是这样的，他在双凸透镜上面放一平凸透镜，使其平面在下，在自然光垂直照射下慢慢压紧两块透镜时，出现了各种颜色的同心圆环。这就是现在被人们称谓的牛顿环。

接着，牛顿又改用红光照射，结果在接触点周围出现无数个规则的红黑相间的同心圆环，距中心黑点越远，环就越密。牛顿在测量了前6个红环的半径后，发现了环所在处空气隙的厚度与透镜曲率之间的关系。

牛顿还用水代替空气，从而观察到色环的半径将减小。当时，牛顿根据光的微粒假说对牛顿环做了错误的解释，现在人们都知道这是光的干涉造成的。

三、杨氏双缝干涉实验

1801年，托马斯·杨(T. Young 英 1773～1829)设计一个演示光的干涉现象的实验。他在暗室的窗子上钻一个小孔，然后用平面镜将阳光水平地反射通过小孔进入室内，在光所经过的地方设置两个互相平行的纸屏。杨在第一个屏上用细针钻一个小孔，在第二个屏上钻两个小孔。进入室内的光束经过第一块屏的针孔后，落在第二块屏上，通过第二块屏的两个针孔射出两束很细的光，这两束光在第三块屏上重迭后形成彩色光带。杨又改用单色光做实验，结果出现明暗相间的干涉条纹。后来，杨又改进实验装置，用狭缝

代替针孔，取得了更好的效果。

杨根据光的波动本性解释了他的实验结果。同时，他也根据光的波动本性解释了牛顿环的形成。

四、光速的测定

光跑得有多快？自古以来，这都是人们关心的问题。

1676 年，罗默（O Romer 丹麦 1644～1710）在观测木星第一卫星掩蚀现象时，发现连续两次蚀之间的时间间隔有长有短，他认为这是因为二次光走的距离不同造成的。经过测算，他得到的光速为 2.15×10^8m/s，这是人类第一次用天文方法测得光速。

1728 年，布拉德雷（J. Braley 英 1693～1762）发现了光行差现象并用它来测定光速，他测算的结果是 3.03×10^8m/s。

1849 年，菲索（A. H. L. Fizeall 法 1819～1896）完成了人类第一次在地面上对光速的测定。他设计的测量装置是这样的：让闪光通过高速旋转齿轮的齿隙后，射到 8km 以外的平面镜上再反射回来，当反射光被下一个轮齿挡住时，观察者就看不到信号。适当提高齿轮转速，使反射光正好通过下一个齿隙被观察到，根据齿轮的转速算出闭光两次通过齿轮之间的时间间隔，进一步算出光速。菲索得到的结果是：光速等于 3.13×10^8m/s。

1975 年，第十五届国际计量大会提供的光速数据为：$C=299792458\pm1$m/s。

§9.5 近代物理部分

一、迈克尔逊-莫雷实验

19 世纪，光的波动说取得了很大的成功，人们认为光是在绝对静止的以太中传播的一种波。1887 年，迈克尔逊（A. A. Michel-

son 美 1852～1931)和莫雷(E. W. Morley 美 1838～1923)合作做实验来确定地球相对以太的绝对速度，从而进一步证实以太的存在。他们把迈克尔逊发明的干涉仪装在大理石板上，并把石板悬浮在水银液面上。这样做能保持整个装置的稳定，从而减小振动的影响，同时又能使干涉仪自由旋转。为了增加光程，他们应用反射镜让两束相互垂直的相干光往返八次，使有效光程达到 11m。

地球公转速度达 30km/s，在它公转一周的过程中，总有一段时间内相对以太的绝对速度不小于 30km/s。根据经典理论计算，这时转动干涉仪，在他们的装置中至少能看到 0.4 个条纹的移动。尽管他们在白天和夜晚，在一年四季不同的时间进行观察，得到的结果都是条纹移动数为零。

迈克尔逊-莫雷实验的零结果是经典物理理论不能解释的。1900 年，开尔文称它是 19 世纪笼罩在热光动力理论上空两朵"乌云"中的一朵。

二、黑体辐射实验

1879 年，斯忒藩(J. Stefan 德 1835～1893)在研究黑体辐射时，通过多次实验后得出如下结论："黑体辐射总能量的通量密度与它绝对温度的四次方成正比。"不久，玻耳兹曼(L. Baltzmaon 奥地利、1844～1906)从理论上导出了它。这个规律被称为斯忒藩-玻耳兹曼定律，它被以后的多次实验证明是正确的。但是在研究黑体辐射能量按频率分布时，却出现了麻烦。

1893 年，维恩(W. Wien 德 1864～1928)从经典热力学理论中导出黑体辐射能量分布公式，这就是关于黑体辐射的维恩定律。但在实验中它仅与高频辐射相符，而不适用于低频辐射的情况。

1900 年，瑞利(L. Rayleigh 英 1842～1919)和金斯(J. H. Jeans 英 1877～1946)根据经典统计物理导出黑体辐射能量分布的瑞利-金斯公式。但在实验中，它仅适用于低频辐射，而在高频部分，公式的结果发散。这被称为"紫外灾难"。

1900 年，普朗克(M. Planck 德 1858～1947)研究上述结果后，提出一个经验公式。这个公式与实验结果相一致。为了从理论上对这个公式作出解释，普朗克提出能量子假说，即能量是不连续的。这个假设是经典物理理论不能接受的，它与光电效应一起，被开尔文称为热光动力理论上空的另一朵“乌云”。

三、阴极射线和电子的发现

19 世纪中期，随着电学知识的积累和真空技术的提高，真空放电的研究引起人们的兴趣。1854 年，盖斯勒(H. Geissler 德 1814～1879)在玻璃管内装上电极后，将玻璃管抽成真空，制成了一支真空放电管。当他把电极接通高压电源时，对着负极的管壁上出现绿色的辉光。

1876 年，戈尔德茨坦(E. Goldstein 德 1850～1930)研究这种现象后指出：绿色辉光是由于负极产生某种射线射到管壁上引起的。并称这种射线为阴极射线。他判断，这种射线是类似于紫外线的电磁辐射。

曾在 1871 年，瓦尔莱(C. F. Varley 英 1828～1883)根据这种射线在磁场中偏转特性指出：这种射线可能是由一些带有负电的物质微粒所组成。

1890 年，汤姆逊(J. J. Thomson 英 1856～1940)在一根长 15m 的真空管内，用旋转镜测时间差的方法，测得阴极射线的传播速度为 1.9×10^5m/s。这远小于光速，从而否定了阴极射线是电磁辐射。

从 1890 年到 1897 年，汤姆逊在实验中证实：阴极射线不仅能被磁场偏转，而且可以被电场偏转。并采用不同的方法，得到阴极射线粒子的荷质比。至此，证明了阴极射线是带负电的粒子流。

1898 年，汤姆逊利用带电粒子在饱和蒸气里形成雾滴的现象，计算雾滴数和电量。从而求出一个阴极射线粒子所带的电荷与氢离子相等，并求得它的质量约为氢原子的 1840 分之一。

以后，人们称汤姆逊发现的阴极射线粒为电子。电子的名称，原来是斯托尼(G. T. Stoney 爱尔兰 1826～1911)提出来，用来表示电荷的最小单位。

四、光电效应的发现

光电效应是电子在光的作用下，从金属表面发射出来的现象。最早是 1887 年赫兹在研究电磁波的发射和接收的实验中偶然发现的。为了便于观察接收回路的电火花，赫兹有一次把接收回路放进暗箱里时，发现电火花明显减弱了。当他清楚了这是由于暗箱挡住光的缘故后，他研究了各种光对放电的影响。最后，他得出结论：用紫光照射电极更易于放电。

在对光电效应的研究中，人们发现：电路中的饱和电流与入射光的强度成正比。但在采用加反向电压的方法来测量电子的最大速度时，得到电子的最大速度与入射光的强度无关的结果。这个结论与经典理论相矛盾。按经典理论，当光束强度增大时，电子得到的能量也增大，它的动能也应增大。而且按照经典理论，即便光不强，只要照射足够长的时间，电子也可以累积到逸出金属表面所需的能量。但实验事实却不然，要么一经照射，就立刻有电子从金属表面逸出，根本不需要延迟时间；要么不管照射多久，都没有电子逸出金属表面。

光电效应使经典电磁理论陷入困境，它与黑体辐射一起被称为热光动力理论上空的另一朵乌云。

五、x 射线的发现

1895 年，伦琴(W. K. Rontgen 德 1845～1923)在研究阴极射线时，为了排除外界的影响，他用锡箔和黑纸把放电管包起来，房间里一片漆黑。突然，他注意到离放电管一米远的地方的荧光屏上发出荧光。这个现象使他非常惊奇，于是又全神贯注地重复刚才的实验，并进一步把荧光屏一步步移远。他发现即使把荧光屏移到两

米远以外，仍可在荧光屏上产生荧光。这种新奇现象是无法用阴极射线来解释的，因为阴极射线在空气中只能行进几厘米。这是从放电管中发出的一种尚未为人所知的射线引起的。伦琴把这种射线称为 x 射线。

于是伦琴抓住这个机遇不放，接连七个星期独自在实验室里紧张地工作。他发现 x 射线的穿透本领非常强，能穿透几厘米厚的木板和 1.5 厘米厚的铝板，但铅板吸收 x 射线能力很强。在实验中，他发现这种射线能够显示人体骨骼和薄金属片中的缺陷，并用 x 射线照出了他夫人的手骨像。在进一步的研究中，实验表明 x 射线是一种波长很短的电磁辐射。

1895 年 12 月 28 日，伦琴公布了他的研究成果。现在人们也把 x 射线称为伦琴射线。

六、放射性的发现

1896 年，贝克勒尔(H. A. Becguerel 法 1852～1908)在进行 x 射线与荧光关系的研究。一次，他把一种铀盐放在用黑纸包严的照相底片上面，在日光下曝晒几小时后，使铀盐发出荧光。然后，他在冲洗底片时，发现底片已经感光。于是他认为这是日晒激发荧光，荧光发射 x 射线的结果。

然而有一次接连几天下雨，贝克勒尔把铀盐包与黑纸包严的底片一起放进抽屉里。几天后，他冲洗其中的底片，结果发现也已感光。他马上想到，底片的感光与日晒和荧光都无关系，这一定是铀盐发出一种神秘射线所致。在进一步的研究中，他发现铀盐发出的射线不仅能使底片感光，还能使气体电离。荧光、温度的变化、放电等对它都无影响。而且这种铀盐不论是结晶状、熔融状还是溶解在溶液里，都能发射射线。由此他得出结论：这种射线来自铀本身。人们把铀盐自发发射射线的性质称为放射性。

其它元素有放射性吗?居里夫妇考查了所有已知元素，没有发现什么元素的放射线比铀还强。1896 年的一天，居里夫人发现一

块沥青铀矿的放射性比纯净的铀盐强得多，这意味着这块沥青铀矿中含有人们尚未发现的新物质。

为了寻找这种未知元素，居里夫妇以坚韧不拔的毅力和为科学献身的精神，在一间工棚里，用一口铁锅从成吨的废矿渣中进行艰苦的提炼工作。1898 年，他们终于提炼出放射性非常强的新元素钋和镭。

七、α 粒子散射实验

20 世纪初，由于电子和物质放射性的发现，说明原子不是不可分的。物理学家们根据自己的实践和见解，提出各种不同的原子模型。其中以 J. J. 汤姆逊在 1904 年提出的“葡萄干布丁型”影响最大。他认为原子好像一个带正电的流体球，集中了原子的绝大部分质量，带负电的电子作为点电荷镶嵌在球体中间。

卢瑟福(E. Rutherford 英 1871～1937)开始也相信这种无核模型，并想通过 α 粒子散射实验来证实它。1909 年，卢瑟福和他的助手盖革(H. Geiger 德 1882～1945)、马斯登(E. Marsden 英 1889～1970)一起设计了一个实验：在抽空的容器内放有放射源，从放射源发出的 α 粒子通过中央有小孔的铅板打在很薄的金箔上。如果原子果真像无核模型那样，由于整个原子呈中性，α 粒子在原子外不受力。而进入原子后，由于 α 粒子质量大，电子的作用微不足道，而正电荷又均匀分布，也不能显著地改变 α 粒子的运动方向。于是，α 粒子会穿过几千层金原子后，平均偏角不会超过 1°。

然而实验结果表明，虽然散射角小的 α 粒子占优势，但也有万分之一左右的 α 粒子，其散射角大于 90°，有的甚至达到 180°。这是 J. J. 汤姆逊原子模型不能解释的。用卢瑟福当时的话说：“这好比你对一张纸发射一发 38.1cm 的炮弹，结果被弹回来打在自己身上。”

卢瑟福对 α 粒子散射实验结果进行了分析研究后，提出了原子的有核模型。即原子的全部正电荷和绝大部分质量集中在原子

内一个比整个原子小得多的核内，并把这个核称为原子核。

八、中子的发现

1914 年，发现了正电荷数和质量数均为的质子。当时人们就推测原子核是由质子组成的。可是这里出现了新的问题，因为除氢以外，所有原子核的电荷数都不等于它的质量数。为了解决这个矛盾，卢瑟福在 1920 年就曾预言中子的存在。

1921 年，查德威克(J. Chacl. Wick 英 1891～1974)试图在氢放电管强烈放电时，寻找这种穿透能力极强的中性粒子，但没有成功。

1923 年，查德威克用盖革发明的点计算器进行实验，也未取得进展。

1924 年，查德威克计划用高速质子轰击原子的方法来产生中子，但由于无力建造大规模的设备而告落空。

1930 年，博特(W. Bothe 德)和贝克尔(H. Becker 德)用钋产生 α 粒子去轰击铍，在实验中产生一种中性的穿透力极强的射线，但他们误认为这是一种能量极高的 γ 射线。

1932 年，居里夫妇也进行了用 α 粒子轰击铍的实验，并测得实验中产生射线的能量为 15 兆电子伏特。但他们也把它误认为是一种 γ 射线。

当查德威克看到了居里夫妇的论文时，他当即想到这种射线正是中子。他首先重复了上述实验，测得这种射线的速度不到光速的 1/10，从而否定了它是 γ 射线的可能。接着，他用碰撞方法和云室的方法测得中子的质量与质子的质量相等。

1932 年，查德威克终于发现了被他寻找了 12 年的中子。

参考书目

1. 安忠、刘炳升主编. 中学物理实验教学研究. 北京:高等教育出版社,1986 年 5 月.

2. 刘炳升、魏日升. 初中物理教师实验技能训练. 北京:高等教育出版社,1989 年 3 月.

3. 国家教委教学仪器研究所. 初中物理演示实验. 北京:人民教育出版社,1990 年 7 月.

4. 王兴乃、罗栋国等编著. 高中物理实验大全(共三册). 北京:电子工业出版社,1989 年 8 月.

5. 王兴乃等主编. 中学物理实验(上、下册). 北京:广播出版社,1983 年 9 月.

6. 王兴乃、罗栋国等编著. 小学自然实验大全. 武汉:武汉工业大学出版社,1989 年 10 月.

7. 朱忠立、张镇九等编. 中学物理仪器与实验. 长沙:湖南教育出版社,1985 年 7 月.